



Facultad de Ingeniería

Carrera de Ingeniería Electrónica

Programa Especial de Titulación

**“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA
TRONCALIZADO TETRA, EN APOYO A LAS
COMUNICACIONES DE REPSOL EN EL LOTE 57”**

Autor: Gari Hiroshi Cotrina Fernández

Para obtener el Título Profesional de
Ingeniero Electrónico

Asesor: Alvarado Rivera, Alberto

Lima, Agosto 2019

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mi familia,
quienes son mi soporte y a la vez el
motivo para seguir adelante día a día.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a las personas que me ayudaron en todo momento, con el único fin de verme crecer y desenvolverme como un profesional.

Gracias.

RESUMEN

En el Lote 57 de Repsol, la comunicación inalámbrica es muy deficiente y en ciertas áreas, la cobertura es nula. Sin embargo, el personal que labora en estas áreas necesita mantenerse comunicado, ya sea por temas laborales o ante cualquier caso de emergencia. La falta total de cobertura y comunicación se presenta en los caminos que unen los campamentos, llamados también derecho de vía, en donde cada cierto tiempo se realizan trabajos rutinarios; originando que el personal que labora en dichas áreas se quede sin comunicación el tiempo que dura su jornada. El sistema de comunicación troncalizado implementado, brinda las funcionalidades adecuadas para cubrir con la necesidad de comunicarse entre el personal en zonas de difícil acceso; por ello, en este sistema es importante mantener la calidad y seguridad de las conversaciones, primordialmente cuando se presentan casos de emergencias. A continuación, se indican los capítulos que corresponden al presente trabajo de suficiencia profesional.

Capítulo 1.- En este capítulo se explica la problemática del presente proyecto y se define los objetivos para brindar una solución. Así mismo se indican los alcances y limitaciones que se presentaron al finalizar la implementación, puntualizándose en la justificación y el estado del arte.

Capítulo 2.- En el segundo capítulo se citan los fundamentos teóricos que son utilizados para el desarrollo del trabajo.

Capítulo 3.- En este tercer capítulo se desarrolla la solución del proyecto, explicando cada uno de los procesos fundamentales para el diseño y la implementación final.

Capítulo 4.- Se interpretan los resultados obtenidos, y el cronograma que se siguió desde el inicio hasta finalizar el proyecto. También las conclusiones y recomendaciones.

INDICE

DEDICATORIA	II
AGRADECIMIENTO	III
RESUMEN	IV
INDICE	V
ÍNDICE DE FIGURAS.....	X
ÍNDICE DE TABLAS	XIV
INTRODUCCIÓN	XV
CAPITULO 1: ASPECTOS GENERALES	1
1.1 Definición del Problema	1
1.1.1 Descripción del Problema	1
1.1.2 Formulación del Problema	2
1.2 Definición de Objetivos	2
1.2.1 Objetivo General	3
1.2.2 Objetivos Específicos	3
1.2.3 Alcances y Limitaciones	3
1.2.4 Justificación	4
1.2.5 Estado del Arte	5
	V

CAPITULO 2: MARCO TEORICO.....	7
2.1 Fundamento Teórico.....	7
2.1.1 Estándar Tetra.....	7
2.1.2 Arquitectura de Red.....	9
2.1.2.1 Nodo Central:.....	9
2.1.2.2 Estación Base:.....	9
2.1.2.3 Terminales de Comunicación	10
2.1.2.4 Terminales de Despacho	11
2.1.3 Interface	11
2.1.4 Modos de comunicación.....	12
2.1.4.1 Modos de Operación.....	13
2.1.5 Elección de TETRA.....	13
2.1.5.1 Sistemas de Comunicación	14
2.1.5.2 Tipo de Tecnología	15
2.1.5.3 Ventajas del Sistema TETRA	16
2.1.5.4 Diferencias entre Sistemas.....	18
2.1.6 Altura de Antenas	19

CAPITULO 3: DESARROLLO DE LA SOLUCIÓN	22
3.1 Identificando e inspeccionando el estado actual de los campamentos y las locaciones que se beneficiarán con el nuevo sistema de comunicaciones.	23
3.1.1 Campamento Nuevo Mundo.....	24
3.1.1.1 Conexiones y Equipos.....	24
3.1.1.2 Altura de la Antena	26
3.1.1.3 Mástil a Utilizar	28
3.1.2 Locación Kinteroni	29
3.1.2.1 Equipos y Conexiones.....	30
3.1.2.2 Altura de la Antena	31
3.1.2.3 De la Torre	33
3.1.3 Locación Sagari Ax	34
3.1.3.1 Equipos y Conexiones.....	35
3.1.3.2 Altura de la Antena	37
3.1.3.3 De la Torre	38
3.1.4 Locación Sagari Bx	40
3.1.4.1 Equipos y Conexiones.....	41
3.1.4.2 Altura de la Antena	42

3.1.4.3 De la Torre	44
3.2 Diseñando una nueva arquitectura de Red Tetra para brindar servicios de comunicaciones en la totalidad del área de trabajo del personal que labora en el Lote 57 de Repsol.	45
3.2.1 Distancia entre Campamentos.	46
3.2.1.1 Campamento Nuevo Mundo – Locación Kinteroni.....	46
3.2.1.2 Locación Kinteroni – Locación Sagari Ax	47
3.2.1.3 Locación Sagari Ax – Locación Sagari Bx.....	48
3.2.2 Cobertura de Señal.....	49
3.2.2.1 Cobertura de señal en Nuevo Mundo.....	50
3.2.2.2 Cobertura de señal en Kinteroni – Sagari Ax y Sagari Bx	51
3.2.3 Diseño de Red.....	52
3.3 Implementando el sistema troncalizado Tetra en las locaciones que comprenden el Lote 57 de Repsol.	54
3.3.1 De la Implementación.....	55
3.3.1.1 Sistema de Puesta a Tierra	56
3.3.1.2 Implementación del Sistema Tetra en Campamento Nuevo Mundo – U300 .	58
3.3.1.3 Implementación del Sistema Tetra en Locación Kinteroni.....	61
3.3.1.4 Implementación del Sistema en Locación Sagari AX	67
3.3.1.5 Implementación del Sistema en Locación Sagari BX.....	70
3.4 Estructura de Desglose de Trabajo	75

CAPITULO 4: RESULTADOS.....	76
4.1 Estaciones Bases y sus características	76
4.1.1 Medios de comunicación	77
4.1.2 Potencia de Señal.....	79
4.2 Cronograma	84
4.2.1 Cronograma de Actividades de Nuevo Mundo	84
4.2.2 Cronograma de Actividades de Kinteroni	84
4.2.3 Cronograma de Actividades de Sagari Ax	85
4.2.4 Cronograma de Actividades de Sagari Bx.....	85
CONCLUSIONES	86
RECOMENDACIONES.....	89
BIBLIOGRAFÍA	90

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Problema de la Investigación.....	2
Figura 2. Símbolos ETSI y TETRA.....	6
Figura 3. Red Típica TETRA.....	8
Figura 4. Asignación de Canales según Estandar TETRA	10
Figura 5. Tipo de Interfaces dependiendo de la operatividad	11
Figura 6. Modos de comunicación.....	12
Figura 7. Diferencia entre Sistema Análogo y Digital.....	16
Figura 8. Diagrama de Bloques del Proyecto	22
Figura 9. Diagrama de Bloques de Identificación y Verificación	23
Figura 10. Rack para Equipos de Red Tetra en Sala de Operadores U300	24
Figura 11. Fotografía Reflejos de F.O para Red Tetra en Sala de Operadores U300.....	25
Figura 12. Fotografía Patch Panel de F.O en Sala de Operadores U300	25
Figura 13. Diagrama de Conexiones Eléctrico para equipos Tetra en U300.....	26
Figura 14. Fotografía Mástil para antenas Tetra (TRX).	29
Figura 15. Fotografía panorámica de puntos en Locación Kinteroni.	30
Figura 16. Mástil para antena de microonda en minicampamento Kinteroni.....	31
Figura 17. Fotografía Patch Panel F.O en U100 Locación Kinteroni.....	31
Figura 18. Fotografía Torre y ubicación del site Locación Kinteron.	33
Figura 19. Fotografía Torre para antenas Tetra (TRX).....	34
Figura 20. Fotografía panorámica de puntos en Locación Sagari Ax.....	35

Figura 21. Fotografía de mástil para antena de microondas en exterior de CPD Sagari Ax	36
Figura 22. Patch Panel F.O de CPD Sagari Ax hacia patch panel en Sagari Bx	36
Figura 23. Fotografía Torre y ubicación del site de Sagari Ax.....	39
Figura 24. Fotografía Torre para antenas Tetra (TRX) – Sagari Ax.	39
Figura 25. Fotografía panorámica de puntos en Locación Sagari Bx.....	40
Figura 26. Fotografía de mástil para antena microonda en exterior de CPD Sagari Bx.....	41
Figura 27. Patch Panel F.O de CPD Sagari Bx.....	42
Figura 28. Fotografía Torre y ubicación del site de Sagari Bx.....	44
Figura 29. Fotografía Torre para antenas Tetra (TRX) – Sagari Bx.....	45
Figura 30. Diagrama de Bloques del Diseño de Red.	46
Figura 31. Distancia entre U300(NM) y Locación Kinteroni.....	47
Figura 32. Distancia entre Locación Kinteroni y Sagari Ax.....	48
Figura 33. Distancia entre Sagari Ax y Sagari Bx..	48
Figura 34. Mapa de calor de intensidad de señal en Locaciones y Campamento.....	49
Figura 35. Diagrama de intensidad de señal en Nuevo Mundo.	51
Figura 36. Diagrama de intensidad de señal en Kinteroni, Sagari Ax y Sagari Bx.	52
Figura 37. Diagrama de Conexión de fibra óptica entre locaciones.	53
Figura 38. Diseño y Prototipo Infraestructura de Red Lote 57.....	54
Figura 39. Diagrama de Bloques de la Implementación.....	55
Figura 40. Fotografía Equipos instalados en rack de U300 Sala de Operadores.....	59
Figura 41. Fotografía Instalación de Antenas Tetra en Torre U300.	60
Figura 42. Fotografía Instalación de Antenas Tetra en Torre U300.	60
Figura 43. Diagrama de Red Tetra en Site Nuevo Mundo U300.....	61

Figura 44. Fotografía panorámica de Kinteroni.....	62
Figura 45. Conectividad de Fibra Óptica Repsol – Kinteroni	63
Figura 46. Gabinete Tetra en Minicampamento Kinteroni.....	64
Figura 47. Antena Mw en Mástil de Minicampamento Kinteroni.....	64
Figura 48. Gabinete Tetra en Base de Torre Kinteroni.....	65
Figura 49. Torre de 45m en Estación Base Kinteroni.....	66
Figura 50. Diagrama de red Tetra en Site Kinteroni U100.....	66
Figura 51. Vista Panorámica Locación Sagari Ax.....	67
Figura 52. Conectividad de Fibra Óptica Repsol – Sagari AX.....	68
Figura 53. Equipos Tetra en Gabinete de Sala de Operadores Sagari Ax.	68
Figura 54. Diagrama de Red Tetra Locación Sagari AX.....	69
Figura 55. Conectividad de Fibra Óptica Repsol – Sagari BX.	70
Figura 56. Equipos Tetra en Gabinete de Sala de Operadores Sagari Bx.....	71
Figura 57. Antena Mw en Mástil de exterior CPD Sagari Bx.	72
Figura 58. Gabinete Tetra en Base de Torre Site Sagari Bx.....	73
Figura 59. Torre en Estación Base Sagari Bx..	73
Figura 60. Diagrama de Red Tetra Locación Sagari BX.	74
Figura 61. Esquema Estructura de Desglose de Trabajo (EDT).....	75
Figura 62. Datos en Software ICS-Pro Site Survey.....	77
Figura 63. Conexión de Fibra óptica entre Nodos de las locaciones.	77
Figura 64. Conexión de Fibra óptica entre Nodos de las locaciones.	78
Figura 65. Estructura de Red Tipo Bus – Sistema Tetra Repsol.	79
Figura 66. Intensidad de Señal en los sites.	81

Figura 67. Relación de colores con Intensidad de Señal.	81
Figura 68. Conexión de Estaciones Base en el Servidor SNMP.....	82
Figura 69. Registro de Equipo Motorla en NMS.....	83
Figura 70. Equipo Motorola registrado en Site Nuevo Mundo.	83
Figura 71. Cronograma de trabajos en Nuevo Mundo.....	84
Figura 72. Cronograma trabajos en Kinteroni..	84
Figura 73. Cronograma de trabajos en Sagari Ax.....	85
Figura 74. Cronograma de Trabajos en Sagari Bx.....	85
Figura 75. Diseño final de Red Troncal Tetra..	87
Figura 76. Mapa de Calor de Intensidad de Señal con Sistema Tetra.	88

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Tecnología Analógico vs Digial..	15
Tabla 2: Tabla de diferencias entre estándares de comunicación radial.	18
Tabla 3: Tabla de valores de factores de corrección para tipos entorno.	21
Tabla 4: Tabla de valores para una altura de Antena Tx de 10metros en NM.	27
Tabla 5: Tabla de valores para una altura de Antena Tx de 18metros en NM.	28
Tabla 6: Tabla de valores para una altura de Antena Tx de 30metros en Kinteroni.	32
Tabla 7: Tabla de valores para una altura de Antena Tx de 35metros en Kinteroni.	33
Tabla 8: Tabla de valores para una altura de Antena Tx de 30metros en Sagari Ax.	37
Tabla 9: Tabla de valores para una altura de Antena Tx de 35metros en Sagari Ax.	38
Tabla 10: Tabla de valores para una altura de Antena Tx de 35metros en Sagari Bx	43
Tabla 11: Tabla de valores para una altura de Antena Tx de 35metros en Sagari Bx	43
Tabla 12: Relación de color con intensidad de señal.	50
Tabla 13: Tabla de resistividad de suelos	56
Tabla 14: Tabla de resistencia del suelo	58
Tabla 15: Intensidad de potencia de señal recibida en locaciones.	76
Tabla 16: Datos de Potencia Recibida.	80

INTRODUCCIÓN

Repsol es una empresa conocida por la venta de combustible al público en general en sus estaciones de servicio, adicionalmente realiza trabajos de refinación de petróleo en Refinería La Pampilla para su distribución y comercialización. Por otro lado, también desarrolla actividades de exploración, extracción y producción de petróleo y gas en la región de la selva amazónica, para lo cual tiene implementado bases remotas, siendo una de las más importantes el Lote 57. El Lote 57 se ubica en la cuenca del Río Ucayali entre los departamentos de Cusco, Junín y Ucayali. Y está conformado por el Campamento Nuevo Mundo y 03 Locaciones: Kinteroni, Sagari Ax y Bx.

Teniendo en cuenta la ubicación y las dificultades que presenta la zona, se diseñó e implementó un sistema de comunicación troncalizado Tetra, para apoyar con la comunicación entre el personal que labora en el Lote 57 de Repsol, considerando una alta disponibilidad y calidad del servicio, comunicación en zonas de difícil acceso, cantidad de usuarios, problemas climatológicos y ubicación de los campamentos.

Como mejora se realizó el diseño de red con enlaces de contingencia ante sucesos fortuitos y definiendo la implementación de al menos una Estación Base por locación, adicionando una repetidora en Nuevo Mundo. No obstante, el sistema de comunicación actualmente utiliza el estándar Tetra, por sus múltiples ventajas ante el GSM y VHF. Una de ellas es que admite comunicaciones a nivel de grupos, las cuales pueden ser priorizados ante alguna emergencia liberándose los canales asignados directamente a estos.

CAPITULO 1

ASPECTOS GENERALES

En este capítulo se expone las causas que generaron los problemas y los objetivos planteados para la implementación del proyecto. Así mismo se muestran los alcances y las limitaciones que presentaba el sistema Tetra dentro del Lote 57 de Repsol Exploración y Producción.

1.1 Definición del Problema

A continuación, se define la descripción y formulación del problema.

1.1.1 Descripción del Problema

En el Lote 57 de Respol, actualmente existen 03 tipos de servicios de comunicaciones mediante voz. De manera local, entre oficinas y campamentos se cuenta con telefonía fija o anexos propios de Repsol. A nivel celular en el área del Nuevo Campamento se cuenta con telefonía móvil 2G la cual el servicio es brindado solo por una Estación Base Celular (BTS) y con un limitante de 15 llamadas en simultaneo, así mismo aún cuentan con un sistema radial de canales múltiples analógicos en las bandas de UHF y VHF los cuales son usados en diversas áreas del Campamento de la Base Logística Nuevo Mundo (de ahora en adelante BLNM) y locaciones (Kinteroni, Sagari Ax y Bx); sin embargo este sistema presenta problemas de seguridad y vulnerabilidad en las conexiones.

Aun contando con las tecnologías descritas anteriormente, se nota una deficiencia en la comunicación mediante voz en ciertas áreas del Lote 57, tales como las locaciones en donde se observa una falta total de cobertura de señal móvil, y señal radial en los tramos que unen éstas (derecho de vía).

De acuerdo a lo detallado anteriormente, en este proyecto se sustentará la idea de

implementar una red con el sistema Troncalizado Tetra que brinde cobertura en la totalidad del Lote 57 (BLNM – Kinteroni - Sagari Ax y Bx); teniendo en cuenta que deberá de ofrecer comunicaciones seguras, confiables y eficientes en los campamentos, zonas de trabajos y tramos que unen las locaciones.



Figura 1. Problema de la Investigación. Fuente: Elaboración Propia

1.1.2 Formulación del Problema

¿Cómo se relaciona el diseño y la implementación de un sistema troncalizado tetra, en la mejora de las comunicaciones del personal de Repsol en el lote 57?

1.2 Definición de Objetivos

A continuación, se definirán el objetivo general y específico que se desarrollará en el siguiente proyecto.

1.2.1 Objetivo General

Diseñar e implementar un Sistema Troncalizado Tetra para mejorar la comunicación entre el personal que labora en el Lote 57 operado por Repsol.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Identificar e inspeccionar el estado actual de los campamentos y las locaciones que se beneficiarán con el nuevo sistema de comunicaciones.
- Diseñar una red central Tetra para brindar servicios de comunicaciones en la totalidad del área de trabajo del personal que labora en el Lote 57 de Repsol.
- Implementar el sistema troncalizado Tetra en las locaciones que comprenden el Lote 57 de Repsol.

1.2.3 Alcances y Limitaciones

Con la implementación del sistema de comunicación troncal en el Lote 57 de Repsol, se obtuvo óptima señal radial en las locaciones, campamentos y derechos de vías; así mismo se comprobó que la señal radial transmitida desde una locación puede llegar a abarcar el área de trabajo de otra locación contigua. Como parte del sistema tetra se implementaron servidores que son utilizados para la monitorización de alertas, base de datos para el registro de dispositivos terminales, repositorio de grabación de conversaciones, y plataforma de aplicación para la ejecución del servicio.

Por otro lado, ha quedado pendiente la implementación de la red de contingencia de enlaces de equipos ante las posibles fallas del enlace principal; también de mejorar la señal radial dentro de los nuevos containers metálicos instalados posteriormente a los trabajos de inspección y levantamiento de información, los cuales actualmente son las

salas de operaciones en Sagari Ax y Bx, ya que, por el espesor de su estructura, dentro de estos la señal es muy baja. Por otra parte, existe la posibilidad de implementar mediante la misma plataforma, la telefonía móvil 4G-LTE, aun cuando en el presente proyecto no se tenga contemplado estas funciones.

1.2.4 Justificación

La comunicación inalámbrica es muy precaria en diversas zonas de trabajos; por ello al implementar una red con mayor alcance y teniendo parámetros de seguridad, mejoró la comunicación entre el personal de campo y sobre todo para quienes laboran en zonas peligrosas y alejadas de los campamentos. Así mismo siendo el Lote 57 un área con alto índice de gases y agentes explosivos, es propenso a diversos peligros y catástrofes, por ello la comunicación entre el personal que labora en las oficinas, los campamentos, en las unidades y las locaciones nunca debe de ser interrumpida, mucho menos ante cualquier tipo de emergencia que se presente en las zonas de trabajo; en este sentido la nueva red backbone implementada con el Sistema Tetra Toncalizado cuenta con enlaces de respaldo en alta capacidad y disponibilidad. Además, los equipos terminales o estaciones móviles se rigen y son basados a las normas de seguridad apropiadas para trabajar en zonas con gases potenciales, vapores químicos, líquidos inflamables. Este proyecto será de utilidad como ejemplo a implementarse en centros o áreas de trabajos similares a las del Lote 57 Repsol; así mismo podemos tomar datos estadísticos, y determinar la eficacia, estabilidad y seguridad del sistema Tetra, incluso ante cualquier emergencia y/o desastre natural. Por otro lado, partiendo de los avances tecnológicos con el estándar TETRA, se cuentan con la segunda versión en el cual los servicios de emergencia trabajan de 380 a 420 MHz, con una canalización de 25KHz y con multiplexación TDMA de 4 intervalos por trama.

1.2.5 Estado del Arte

El Sistema Tetra nace con el objetivo de unificar las distintas alternativas de interfaces de radio digitales para la comunicación entre profesionales de los servicios de emergencia. Este estándar dota de grandes ventajas a los sistemas de comunicación en aspectos muy importantes para estos profesionales, como puede ser la rapidez en las comunicaciones y sobre todo la seguridad. Es por ello que “la aplicación de este estándar global tetra está orientada a soluciones especializadas en el ámbito profesional, donde características como la seguridad, la compatibilidad y disponibilidad, la calidad de la voz o la intimidad de las comunicaciones, son factores fundamentales para cualquier organización pública o privada”. (Dolphin Telecom, 2014).

Hoy en día existen varios proyectos de desarrollo de sistemas de comunicación troncalizados basados en el estándar TETRA, esto con el fin de mejorar y mantener una comunicación óptima entre las personas ante algún hecho de emergencia el cual requiera de una comunicación eficaz. Sin embargo, a nivel de tecnología, se siguen teniendo más avances (Ciuffo, 2018).

Teniendo como base dicho punto se puede determinar que el estándar TETRA no solo se verá limitado a ser usado por cierto sector de personas, sino que en el transcurrir del tiempo se generarán modificaciones de acuerdo a las nuevas necesidades tal y como indica Rodríguez Buendía (2013) “Es un estándar abierto, lo cual permite que se desarrollen mejoras a partir de sus especificaciones. Es por tanto que se crea la necesidad de modelar un sistema de este tipo para poder probar como le afectan las distintas tecnologías que van surgiendo en el mercado” (p.3).

La tecnología TETRA al ser un estándar de radiocomunicaciones de voz y datos elaborado por la ETSI basado en un sistema de canales múltiples de selección automática (Troncalizado) digital, está orientada a satisfacer las necesidades de comunicación de equipos de seguridad (Policía, Bomberos, Defensa Civil, etc.) así como comunicaciones de emergencias y cuenta funcionalidades diseñadas para estos propósitos en contraposición a las funcionalidades brindadas por las redes públicas comunes (GSM, CDMA, UMTS, etc.), así mismo es un sistema de estándar abierto, por lo que posee una única normatividad y varios fabricantes para los componentes del sistema (equipamiento y terminales).(Defilippi Elias - p.103).

Se trata de un estándar abierto, con lo que se fomenta la oferta y competencia de los distintos fabricantes de telecomunicaciones. “Está diseñado específicamente para atender a las agencias y organizaciones de misión crítica, brindando servicios de llamada de grupo y servicios de datos para información de posicionamiento y solicitudes de bases de datos, entre otros” (Solís Tulandé, 2017, pág. 24).



Figura 2. Símbolos ETSI y TETRA. Fuente: <https://www.etsi.org/technologies>

CAPITULO 2

MARCO TEORICO

2.1 Fundamento Teórico

2.1.1 Estándar Tetra

El sistema de Radio Troncalizado Terrestre (TETRA) es un estándar elaborado y definido por la ETSI (Instituto Europeo de Estándares para las Telecomunicaciones) en 1995 (ETSI, 1995). La tecnología TETRA, es un sistema de radio troncalizado, que usa una infraestructura para conectar a varios puntos y bases de radios. Es un sistema de radio digital, específicamente es un sistema de Acceso Múltiple por División de Tiempo (TDMA), esto permite más comunicaciones en un mismo espectro de frecuencias que un sistema analógico (García, 2013 – p.4).

En los sistemas de radio analógicos, un canal de comunicaciones podría ocupar una franja de hasta 25 kHz dentro de las bandas permitidas: 380-400 MHz (fuerzas de seguridad), 410-430 MHz (uso comercial) o la banda 800 MHz empleada habitualmente fuera de Europa. En TETRA, este mismo ancho de banda permite emplear hasta 4 canales de comunicación. También podemos nombrar algunas de las características más destacadas con los que cuenta el estándar Tetra (Joves, 2012 – p.20)

- ✓ Puede trabajar en modo terminal a terminal, en caso de fallo en las comunicaciones.
- ✓ Es un sistema digital más moderno que el Sistema Global para las Comunicaciones Móviles (GSM) con calidad de sonido superior al implementar sistemas más modernos de compresión de datos.
- ✓ Mejor aprovechamiento del canal, ya que permite comunicaciones semidúplex como la

radio convencional o full-duplex como el teléfono en casos necesarios, utilizando los canales desocupados.

- ✓ Menor grado de saturación, ya que la norma garantiza una capacidad por defecto superior al doble de los canales convencionales en uso. Además dispone de comunicaciones priorizadas, por lo que en caso de saturación se garantizan la disponibilidad de estas comunicaciones prioritarias.
- ✓ Permite comunicaciones grupales lo que mejora la gestión para coordinación en las urgencias.
- ✓ También cuando no existen canales disponibles, el requerimiento de transmisión se pone en cola de espera por un tiempo determinado hasta que el recurso se encuentre nuevamente disponible y será asignado automáticamente; sin embargo ante una llamada de emergencia, se envía un tipo de despacho con la cual asigna a la radio prioridad de acceso a los canales del grupo de emergencias para establecer una comunicación.

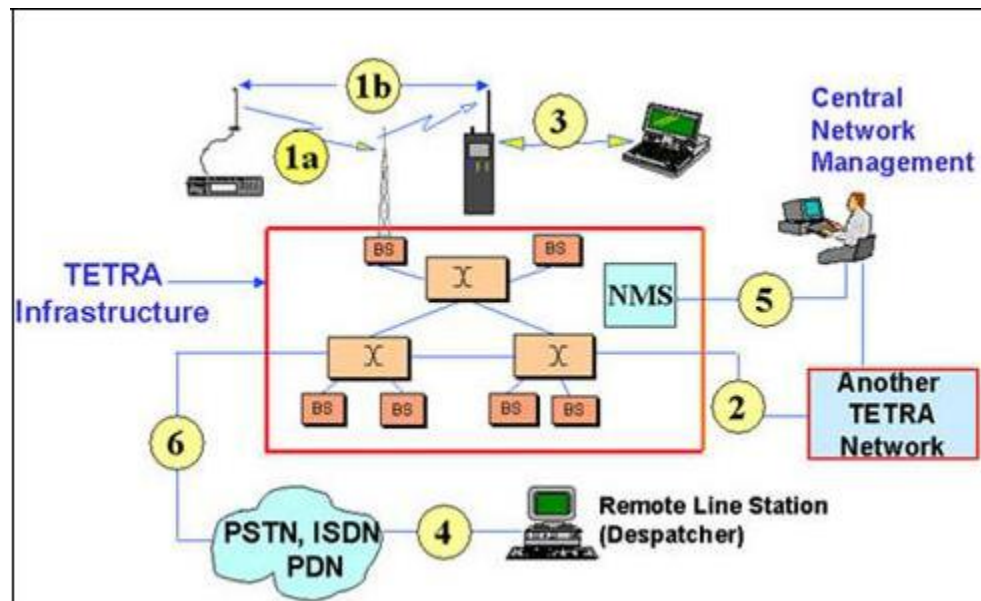


Figura 3. Red Típica TETRA. Fuente: <https://mobilecomms.kableintelligence.com>

2.1.2 Arquitectura de Red

El sistema Tetra se basa en la comunicación inalámbrica la cual va a ser empleada para brindar un servicio de comunicación entre un conjunto de personas, por ello se debe instalar el equipamiento necesario para brindar un servicio adecuado.

2.1.2.1 Nodo Central:

Es el cerebro de toda la red y su principal función es que todos los usuarios del servicio puedan comunicarse. Tiene el control de todo el tráfico de los diferentes canales, radioenlaces...

Permite la conexión mediante topologías de malla o anillo.

El DXTip gestiona las conexiones de voz y datos entre usuarios y usuarios y despachos, asociando a los diferentes terminales de un mismo grupo a las Estaciones Base. Soporta hasta 256 portadoras y un máximo de 128 Estaciones. La base de datos incluye también informaciones sobre las organizaciones y los grupos. Cuando un usuario quiere acceder a la red, primero el DXT tiene que confirmar que este tiene los permisos para poder acceder. Además, tiene programados los privilegios de cada usuario.

2.1.2.2 Estación Base:

Su función principal es la de dar cobertura a una zona concreta, dependiendo de hasta donde llegue la cobertura de esta. Asigna de forma dinámica los canales de tráfico, es decir asigna uno de los canales que tenga libre cuando el nodo central le envía una comunicación de que un usuario quiere hablar. Este proceso lo realiza independiente del DXT. También debe de gestionar el enlace con el nodo central, para esto se utilizan los radioenlaces, por donde se transmite el tráfico entre el nodo central y la Estación Base. Normalmente el enlace ascendente, desde el terminal móvil a la estación base suele ser el

restrictivo, ya que la potencia de este suele ser menor.

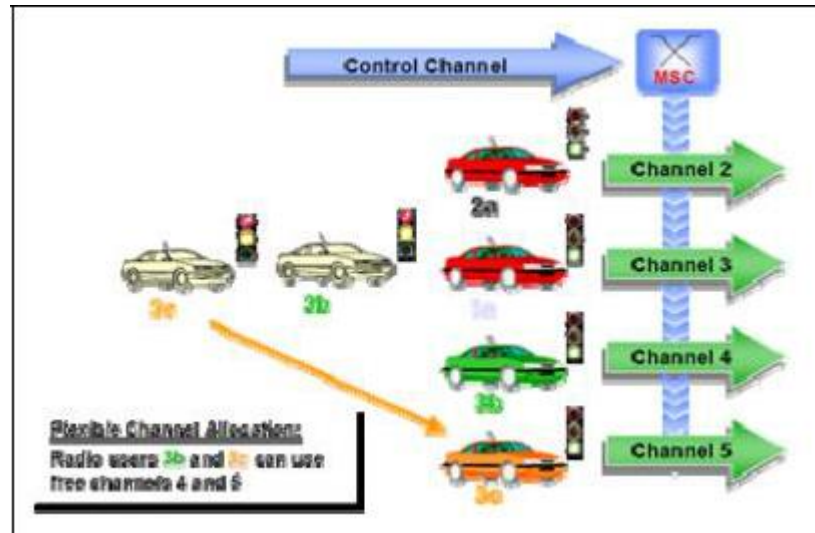


Figura 4. Asignación de Canales según Estandar TETRA. Fuente:

https://personales.unican.es/perezvr/pdf/TETRA-UC_13_7_2010.pdf

2.1.2.3 Terminales de Comunicación

Existen fundamentalmente 04 tipos diferentes de equipos terminales de usuarios

- ✓ Portátiles: Dispositivos de mano, tienen el transmisor de menor potencia, ya que funcionan mediante baterías.
- ✓ Móviles: Están instalados en los vehículos, utilizan la energía del propio coche para funcionar. Por esto pueden emitir a mayor potencia que los portátiles.
- ✓ Fijos: Están localizados en edificaciones. Como el consumo eléctrico no es un problema emiten con gran potencia.
- ✓ De operador: A diferencia de los anteriores, no emplea un sistema radiante propio para la comunicación, sino que utiliza la red para enviar su mensaje al resto de usuarios.

2.1.2.4 Terminales de Despacho

Son ubicaciones desde las que un operador puede tener acceso al sistema, dichos puestos permiten tanto las funcionalidades de comunicaciones como las de gestión y administración. Además, cuentan con una interfaz de monitores.

2.1.3 Interface

El estándar define varias interfaces en la red Tetra. (POU, 2010)

- ✓ Interfaz aire (AIR IF): Asegura la interoperabilidad de terminales de distintos fabricantes
- ✓ Interfaz del terminal (TEI): Desarrollo independiente de aplicaciones.
- ✓ Interfaz entre sistemas (ISI): Asegura la interconexión de redes Tetra de distintos fabricantes.
- ✓ Operación en modo directo (DMO): Garantiza la comunicación entre terminales sin cobertura de red.
- ✓ Otros: Interfaz Man-Machine, pasarelas a redes externas (PABX, PSTN), interfaz con los gestores de red (NMP)

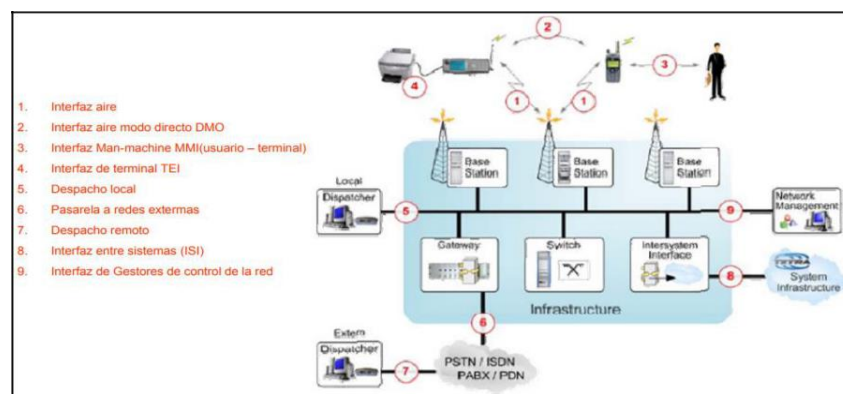


Figura 5. Tipo de Interfaces dependiendo de la operatividad. Fuente:

https://personales.unican.es/perezvr/pdf/TETRA-UC_13_7_2010.pdf

2.1.4 Modos de comunicación

El Sistema europeo Tetra fundamentalmente cuenta con los siguientes modos de transmisión.

- ✓ Comunicación semi-duplex: El transmisor utiliza un canal de subida para hablar y el receptor escucha en el canal de bajada. Las frecuencias de subida y baja son diferentes. Para esto se utiliza el PTT (Push To Talk) se presiona para hablar y se suelta para escuchar.
- ✓ Comunicación dúplex: El transmisor y el receptor utilizan el canal de subida para hablar y el de bajada para escuchar.
- ✓ Comunicación simplex: Se utiliza un único canal para recepción y para transmisión.

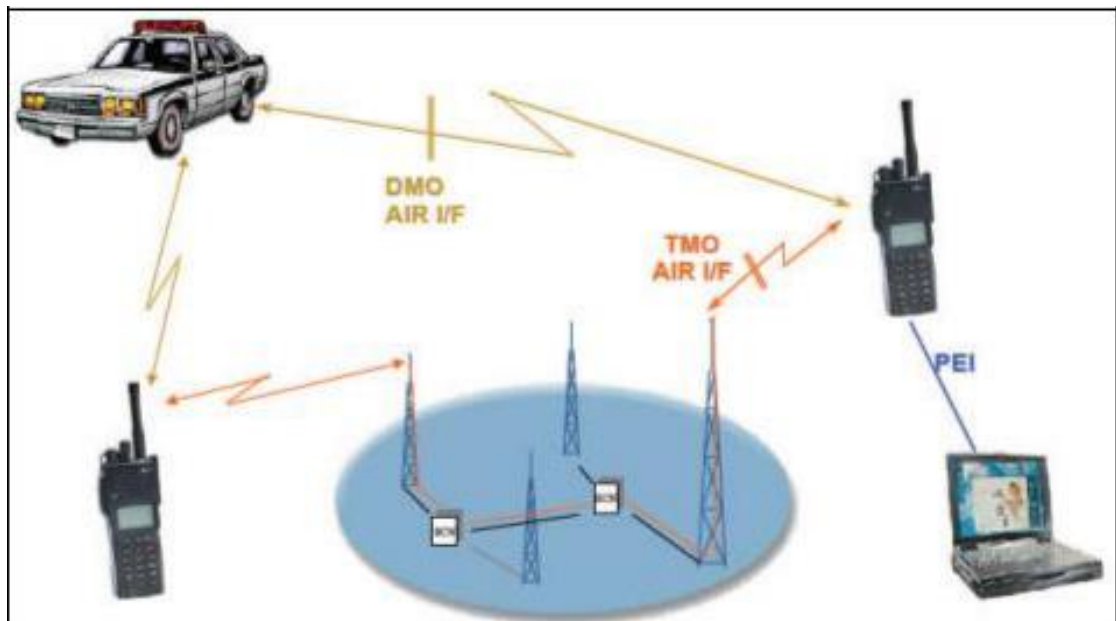


Figura 6. Modos de comunicación. Fuente: <https://personales.unican.es/perezvr/pdf/TETRA->

UC_13_7_2010.pdf

2.1.4.1 Modos de Operación

Existen tres modos de operación:

- ✓ Trunked Mode Operation (TMO): Es el modo principal de operación, requiere la presencia de al menos una Estación Base y se basa en la utilización del interfaz aire. El terminal está registrado y controlado por la red y todos estos se comunican con los demás a través de la Estación Base para hacer llamadas individuales y de grupo.
- ✓ Trunked Mode Operation - VOICE + DATA (TMO-V+D): Es como el modo anterior, pero permiten la transmisión de datos y voz.
- ✓ Direct Mode Operation (DMO): Comunicación directa entre terminales sin pasar por la red. Esta forma de trabajo posibilita la comunicación entre un grupo de terminales que se encuentren dentro de su radio de cobertura. Permite la realización de llamadas individuales o de grupo sin la presencia de una Estación Base. Además, el terminal puede trabajar también en modo Gateway, permitiendo a los terminales que no se encuentran dentro de la zona de cobertura de una estación base, alcanzar la red, utilizando el terminal en modo Gateway como un repetidor

2.1.5 Elección de TETRA

En este punto indicaremos el porqué de la elección del Sistema Tetra, teniendo en cuenta algunos aspectos como sistemas de comunicación, tipos de tecnología, ventajas de uso del sistema.

2.1.5.1 Sistemas de Comunicación

Se debe de tener en cuenta que, de toda el área del lote 57 de Repsol solo en la BLNM se cuenta con un sistema celular 2G el cual es muy limitado, tanto en la cantidad de llamadas y por el entorno boscoso y montañoso de la zona; por ello una solución alternativa sería poder utilizar el sistema de comunicación de dos vías el cual tiene ventajas en este tipo de tecnologías, superficies y estilo de operatividad en el trabajo.

Es así que a continuación se detallan las ventajas que presenta el sistema y terminales de comunicaciones de dos vías.

- ✓ **Bajos Costos:** Se necesita una inversión menor para el inicio de la operatividad del servicio y no requiere de pagos mensuales constantes como las compañías de telefonía móviles para mantener el servicio. Así mismo, no es necesario que una radio este asignada solo a un trabajador, lo cual disminuye la cantidad de radios en una empresa.
- ✓ **Gestión eficiente de radios:** Se puede restringir el uso de sistemas y características para realizar llamadas, así como encriptar las llamadas para que éstas sean más seguras utilizando un cifrado digital. También cuenta con características de comunicación las cuales son orientadas a grupos y ambientes de expedición, dependiendo del uso se pueden tener comunicaciones rápidas, confiables, de uno-uno, uno-muchos y muchos-muchos.
- ✓ **Resistencia y Confiabilidad:** Los equipos están diseñados según especificaciones técnicas para usos militares, por ello tienen la capacidad de resistencia al polvo, humedad, impactos, vibraciones, temperaturas altas, uso en áreas tóxicas. Además, tienen la capacidad de conectividad instantánea al

presionar un botón lo cual es vital para emergencias y/o entornos peligrosos, también estos equipos a menudo cuentan con baterías de respaldo ante problemas de energía, reducción de vientos y ruidos ambientales.

2.1.5.2 Tipo de Tecnología

Para determinar el tipo de tecnología a usar, realizaremos un cuadro comparativo entre las principales diferencias entre radios analógicas o digitales.

Tabla 1: *Tecnología Analógico vs Digital. Fuente: Motorola Solutions Inc.*

PARAMETROS	ANALÓGICO	DIGITAL
APLICACIONES	No permite aplicaciones de datos. Sólo tiene comunicación de voz	Cuenta con aplicaciones de datos dirigidas a empresas (mensajería de texto, ordenes de trabajo GPS, y aplicaciones de acuerdo a necesidades del cliente)
BATERÍA	Consume más batería	Maximiza la vida útil de la batería. Reduce el consumo de la misma, permitiendo hasta 40% más de uso para turnos de trabajos más largos.
AUDIO	Transmite el audio original. La calidad del audio podría verse afectado por ruidos ambientales y estática	Reduce los ruidos ambientales y elimina la estática transmitiendo buena calidad de sonido
EVOLUCIÓN TECNOLÓGICO	Ha llegado a su límite de innovación	Permite implementar nuevas tecnologías
CAPACIDAD DE EXPANSIÓN	Para crecer requiere plataformas de productos diferentes	La misma plataforma permite agregar más software y hardware adicional.

BOTONES DE TERMINALES	Solo responden a la programación original	Permite programar los botones personalizando de acuerdo al requerimiento del usuario
ESPECTRO	Admite un usuario por canal	Dos veces el número de usuarios por canal. Se pueden realizar comunicaciones simultaneas.
COMPATIBILIDAD	Solo trabaja con el sistema analógico	Permite la convivencia del sistema analógico y el sistema digital.

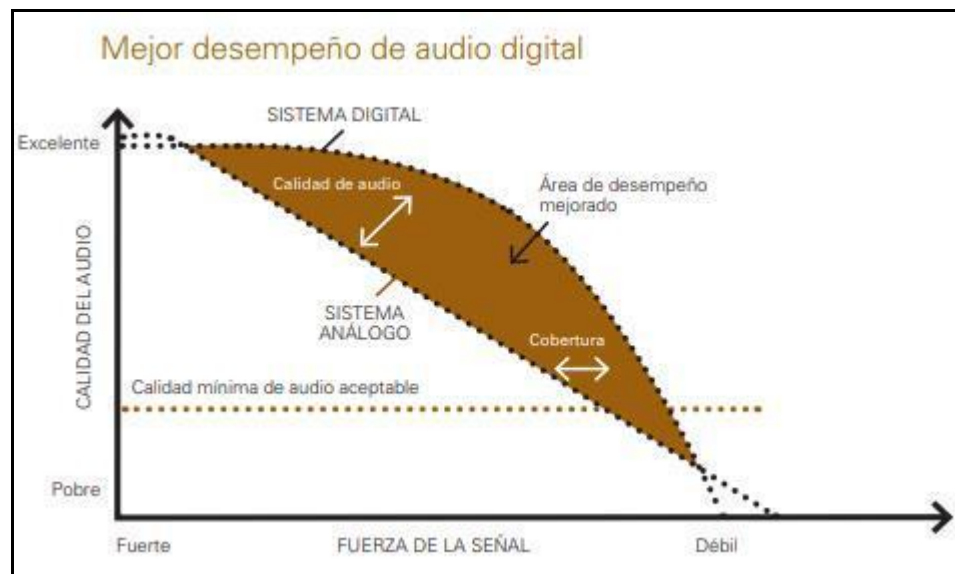


Figura 7. Diferencia entre Sistema Analógico y Digital. Fuente: Motorola Solutions Inc.

2.1.5.3 Ventajas del Sistema TETRA

El protocolo TETRA fue pensado y diseñado para usuarios PMR (por sus siglas en inglés de Radio Profesional Móvil), sobre todo para agencias del orden, seguridad pública, servicios de emergencias tales como la policía, bomberos, serenazgos, ambulancias. Es así que a continuación se detalla las algunas ventajas de Tetra ante otros

protocolos de comunicación:

- a) Utilización de frecuencias más bajas lo cual permite que se implementen una cantidad menor de repetidoras para cubrir una misma área geográfica.
- b) Cuenta con una infraestructura independiente, no depende de las redes de telefónica pública.
- c) Alta eficiencia espectral, 4 canales de 25 kHz y sin bandas de guarda, en comparación con GSM con 8 canales de 200 kHz y bandas de guarda.
- d) Rapidez en el establecimiento de las llamadas típicamente inferior a las 250ms, teniendo en cuenta que algunas llamadas de otros sistemas tardan entre 7s y 10s.
- e) Puede trabajar en modo terminal a terminal, en caso de fallo en las comunicaciones.
- f) Contiene diversos mecanismos para asegurar la comunicación en caso de emergencias, incluso en durante las situaciones de saturación y sobrecargas en las comunicaciones. Adicional, tetra cuenta con varios modos de llamadas de emergencias.
- g) Si se cuenta con un único terminal conectado a la red, este puede servir de gateway para otros terminales cercanos que no tienen conexión con la red.
- h) Mejora el aprovechamiento de los canales ya que permite comunicaciones semi-duplex como las radios convencionales.
- i) También permite comunicaciones de uno a muchos, esto mejora la gestión de grupos ante comunicaciones en caso se presente alguna emergencia.
- j) Se cuenta con distintos terminales específicos de acuerdo a la necesidad del usuario tales como portátiles, móviles y terminales para bases.

2.1.5.4 Diferencias entre Sistemas

Para tener una visibilidad de la elección de los sistemas de comunicación radial y sus características se ha realizado un cuadro comparativo.

Tabla 2: *Tabla de diferencias entre estándares de comunicación radial. Fuente: Propia*

CARACTERÍSTICAS	TETRA	P25	DMR
BANDA DE FRECUENCIA	- UHF (380 – 430MHz) - 806 – 871 MHz	- VHF (132 – 174MHz) - UHF (400 – 520MHz) - 806 – 871 MHz	- VHF (136-174MHz) - UHF (350-520MHz)
EFICIENCIA ESPECTRAL	- TDMA con 4 canales en 25 KHz / Mayor eficiencia espectral menor número de frecuencias necesarias	- FDMA con ancho de banda de 12,5 KHz / 2 canales en 25 KHz. - TDMA en cada canal de 12,5 KHz / 4 canales en 25 KHz.	- TDMA con 2 canales en 12,5 KHz
METODOS DE COMUNICACIÓN	- Full Duplex - Semi Duplex	- Semi Duplex	- Semi Duplex
VELOCIDAD DE TRANSMISIÓN	28,8 Kbps	- Fase 1: 9,6 Kbps. - Fase 2: 12 Kbps	- 9,6 Kbps
DATOS Y VOZ EN SIMULTANEO	- SI	- Fase 1: NO - Fase 2: SI	- SI
TIPO DE SISTEMA	Trunking	P25 Fase 1 - No Trunking P25 Fase 1 - Trunking	DMR Tier2 - No Trunking. DMR Tier3 - Trunking
SEGURIDAD	Nivel de seguridad más alto por autenticación mutua	Es el estándar con mayor seguridad	Cifrado simple.

2.1.6 Altura de Antenas

Para el cálculo de la altura de las antenas dependiendo de los niveles de señal, se utilizará el modelo operativo de Okumura-Hata, que es el modelo empírico más utilizados en los diseños de redes de comunicación inalámbrica, ya que te permite determinar entre zonas urbanas de baja densidad y muy densas o zonas rurales; así mismo, toma en cuenta el tipo de clima (atenuaciones por vientos y lluvias) y diversos tipos de atenuaciones como en los cables y conectores.

Este cálculo depende de la distancia entre la radio base y el móvil, y se aplica para frecuencias que fluctúan entre 150MHz y 1500MHz, con alturas para la estación base (RBS) entre 30m y 200m y para el móvil entre 1m y 10m. La ecuación que permite obtener el valor de la potencia recibida por el móvil es la siguiente:

$$P_{Re\ c} = -L_b + P_T - A_{Coax} + G_T + G_R$$

Donde:

P_{Rec} = Potencia de señal recibida en el móvil o portátil

L_b = Pérdida de propagación según el entorno (O-H)

P_T = Potencia de transmisión

A_{Coax} = Atenuación de cable coaxial y conectores

G_T = Ganancia antena transmisora

G_R = Ganancia antena receptora

Se debe de tener en cuenta que el valor para L_b va a depender del entorno los cuales están clasificados de la siguiente manera:

- a) Zona Rural
- b) Zona suburbano o baja densidad
- c) Ciudad Media / Pequeña
- d) Ciudad Grande

Para obtener el valor de L_b se tiene la siguiente expresión general:

$$L_b \text{ (dB)} = 69,55 + 26,16 \log f - 13,82 \log(ht) + [44,9 - 6,55 \log(ht)] \log d - a(hm) - K$$

Donde:

f = Frecuencia en Mhz.

hm = Altura sobre el suelo de la antena Rx (m), entre 1 y 10 m.

d = Distancia entre Tx y Rx (Km), entre 1 y 20 Km.

$a(hm)$ = Factor de corrección por el valor de hm y entorno.

ht = Altura efectiva de la antena Tx (m) entre 30 y 200 m.

Según el tipo de zona a considerar se le deben realizar las correcciones, por ello para hallar el valor de $a(hm)$ y k , se toma en cuenta las expresiones que se detallan en la siguiente tabla:

Tabla 3: Tabla de valores de factores de corrección para tipos entorno. Fuente:

Okumura – Hata

Tipo de área	a(hm)	K
Rural	[1,11 log (f-0,7)]hm - [1,56 log (f-0,8)]	$4,78 (\log f)^2 - 18,33 \log f + 40,94$
Sub Urbana		$2[\log (f / 28)]^2 + 5,4$
Ciudad media / pequeña		0
Ciudad grande	$3,2 [\log (11,75hm)]^2 - 4,97$	0

CAPITULO 3

DESARROLLO DE LA SOLUCIÓN

Con respecto al desarrollo de la investigación se propone el siguiente cuadro para detallar el plan de actividades a realizarse.

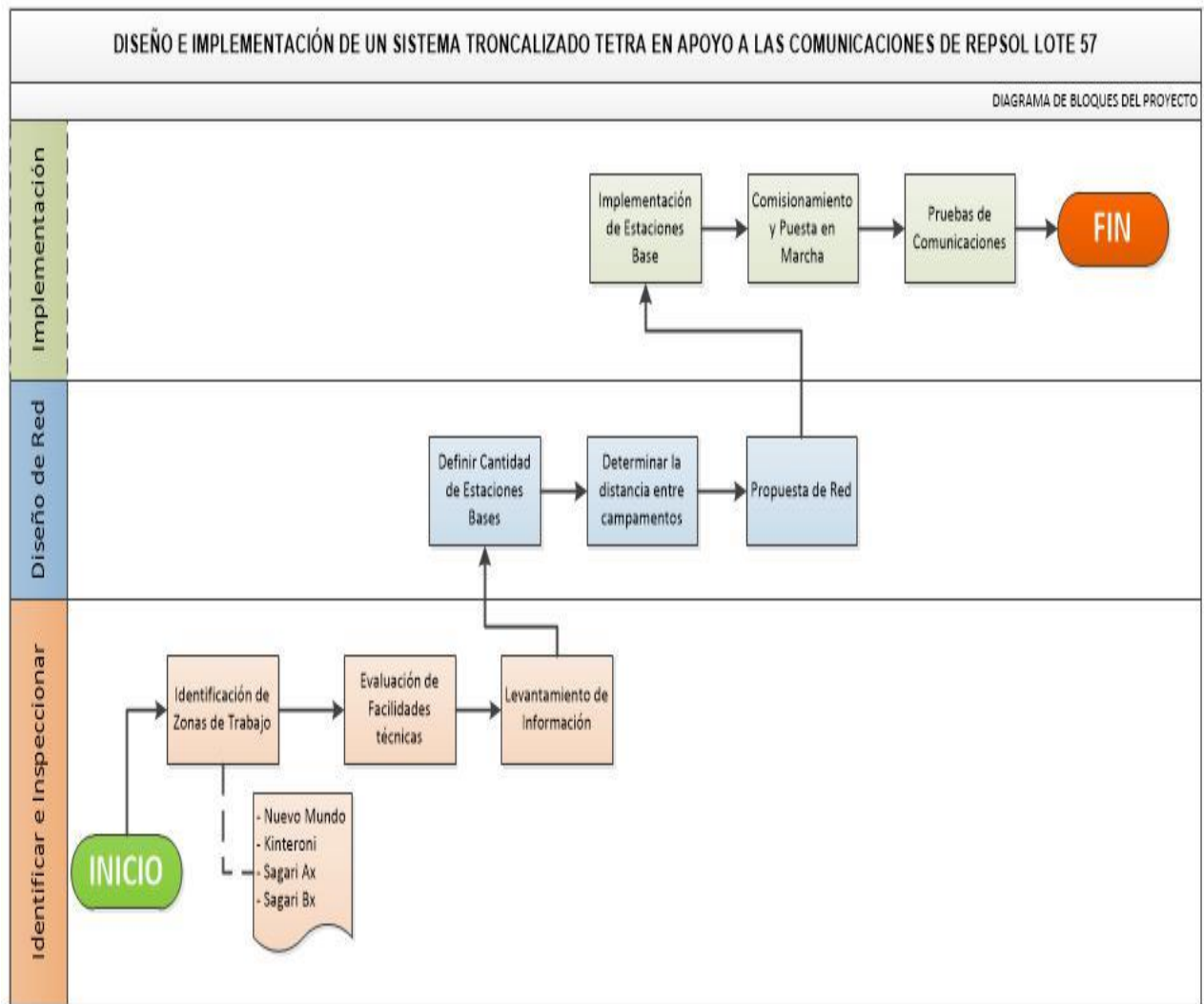


Figura 8. Diagrama de Bloques del Proyecto – Fuente: Elaboración Propia

3.1 Identificando e inspeccionando el estado actual de los campamentos y las locaciones que se beneficiarán con el nuevo sistema de comunicaciones.

Repsol determinó que el nuevo sistema de comunicaciones a implementarse brindará servicios al Campamento Nuevo Mundo, Locación Kinteroni, Locación Sagari Ax y Locación Sagari Bx. Por ello se realizaron el estudio de campo en las 04 locaciones siguiendo la estructura del siguiente diagrama de bloques detallado.



Figura 9. Diagrama de Bloques de Identificación y Verificación – Fuente: Elaboración Propia

3.1.1 Campamento Nuevo Mundo

Nuevo Mundo está ubicado en latitud: 11°32'33.69"S y longitud: 73° 8'50.16"O, en este campamento se encuentra la mayor parte de los trabajadores y/o colaboradores de Repsol los cuales suman aproximadamente 200 personas. Así mismo dentro del Campamento Nuevo Mundo existe una zona llamada U300 en donde se cuenta con un Centro de Procesamiento de Datos (CPD) y el cuarto de comunicaciones de IT del Lote 57 la cual es maniobrada por un Operador. A continuación, se detalla lo encontrado en la visita de campo:

3.1.1.1 Conexiones y Equipos

Dentro de la sala de operadores, se encontró un gabinete vacío por lo cual, éste se utilizará para montar los equipos del sistema Tetra.



Figura 10. Rack para Equipos de Red Tetra en Sala de Operadores U300 – Fuente: Elaboracion Propia

Además, se tenderá un par de hilos de fibra óptica mono modo hacia el rack 01 de la sala de operadores, ya que cuenta con un ODF con reflejos de Fibra Óptica que llegan hasta la sala de operadores de U100 Kinteroni.

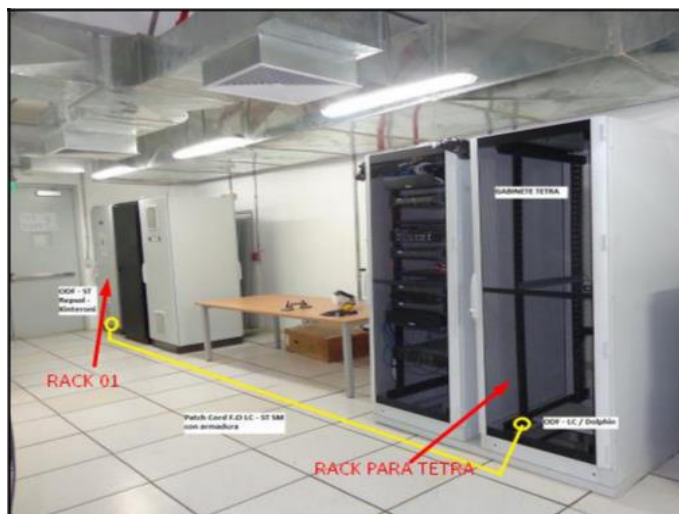


Figura 11. Fotografía Reflejos de F.O para Red Tetra en Sala de Operadores U300 - Fuente: Elaboracion Propia

Los pares de hilos de fibra óptica asignados serán el hilo 11 e hilo 12, este ODF de los reflejos obtenidos en Kinetorni presentan terminales “FC”. y en el ODF de Kinteroni presenta terminales “LC”



Figura 12. Fotografía Patch Panel de F.O en Sala de Operadores U300 . Fuente: Elaboracion Propia

Hallando L_b , quien dependerá de los factores de corrección de $a(hm)$ y k en la siguiente ecuación.

$$L_b \text{ (dB)} = 69,55 + 26,16 \log f - 13,82 \log(ht) + [44,9 - 6,55 \log(ht)] \log d - a(hm) - K$$

$$L_b \text{ (dB)} = 138,174 - 13,82 \log(ht) + [44,9 - 6,55 \log(ht)] \log d - a(hm) - K \quad \dots (2)$$

Hallando los factores de correcciones $a(hm)$ y k , teniendo en cuenta que la altura sobre el suelo de la antena del móvil es de 1,5m

$$a(hm) = [1,11 \log (f-0,7)]hm - [1,56 \log (f-0,8)]$$

$$a(hm) = 0,025 \quad \dots (3)$$

$$k = 4,78 (\log f)^2 - 18,33 \log f + 40,94$$

$$k = 25,73 \quad \dots (4)$$

En la tabla 4 y 5. se indican los cálculos de los niveles de señal obtenidos de acuerdo a la distancia que existe entre la antena Tx y la Rx

Para $h_{tx} = 10m$

Tabla 4: Tabla de valores para una altura de Antena Tx de 10 metros en NM. Fuente:

Propia

Distancia (Km)	L_b (dB)	P_{rec} (dBm)
0,5	87,05	- 31,07
1	98,6	- 42,62
1,5	105,35	- 49,37
2	110,144	- 54,16
2,5	113,86	- 57,88
3	116,90	- 60,91
4	121,69	- 65,71
5	125,41	- 69,43

6	128,44	- 72,46
7	131,01	- 75,03

Para $h_{tx} = 18\text{m}$

Tabla 5: Tabla de valores para una altura de Antena Tx de 18metros en NM. Fuente:

Propia

Distancia (Km)	L_b (dB)	P_{rec} (dBm)
0,5	84,03	- 28,05
1	95,07	- 30,09
1,5	101,53	- 45,55
2	106,11	- 50,13
2,5	109,66	- 53,69
3	112,57	- 56,60
4	117,15	- 61,17
5	120,70	- 64,73
6	123,61	- 67,63
7	126,07	- 70,09

3.1.1.3 Mástil a Utilizar

En la parte exterior de la sala de operadores en U300, se cuenta con un Mástil de 23 m de alto, en el cual se ubican los equipos del sistema de Tetra. Para ello se realizó una representación gráfica de la manera en que se distribuirían los equipos de irradiación.

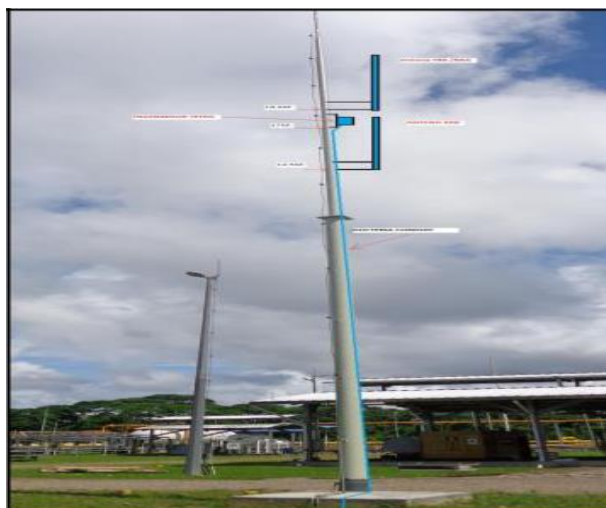


Figura 14. Fotografía Mástil para antenas Tetra (TRX). Fuente: Elaboracion Propia

3.1.2 Locación Kinteroni

La locación de Kinteroni está ubicado en latitud: $11^{\circ}30'30.27''S$ longitud: $73^{\circ}15'5.62''O$, la estadía del personal y/o colaboradores de Repsol se da cuando existe algún trabajo programado ya sea correctivo o de mantenimiento. Sin embargo es muy importante que ante una eventualidad no se pierda la comunicación con el personal que se encuentra en Nuevo Mundo o en las otras Locaciones. En Kinteroni existen dos zonas, la Unidad 100 (U100) y el Minicampamento, adicional a ello se debe de indicar que a 500m de la U100 y sobre un monte se cuenta con una Torre ventada de 45m de altura; sin embargo no existe ninguna conexión cableada entre estos dos extremos.



Figura 15. Fotografía panorámica de puntos en Locación Kinteroni. Fuente: Elaboración Propia

3.1.2.1 Equipos y Conexiones

El ODF del reflejo de fibra óptica desde la U300 en Nuevo Mundo se encuentra en la U100 de Kinteroni (conectores LC), sin embargo al no existir cableado alguno desde la U100 hacia la torre ni línea de vista para la implementación de alguna solución inalámbrica, se optó por implementar un enlace microondas desde el minicampamento de Kinteroni hacia la Torre ventada, por ello para el primer tramo se debe de utilizar un reflejo de par de hilo de fibra óptica que existe entre la U100 y el minicampamento, para este primer reflejo se utilizará el par 3-4 y 5-6 del patch panel de Fibra Óptica. Posteriormente se implementará el enlace microonda requerido desde un mástil que se encuentra a unos 15 metros del minicampamento hacia la torre en donde se instalan los equipos Tetra.



Figura 16. Mástil para antena de microonda en minicampamento Kinteroni. Fuente: Elaboración Propia

El par de fibra óptica 5-6 se utilizará para el retorno del enlace que unirá el minicampamento hacia U100 con el fin de brindar servicio a los equipos a instalarse en Sagari Ax, en dicha locación se utilizará el par 15-16 del reflejo del ODF desde U100.

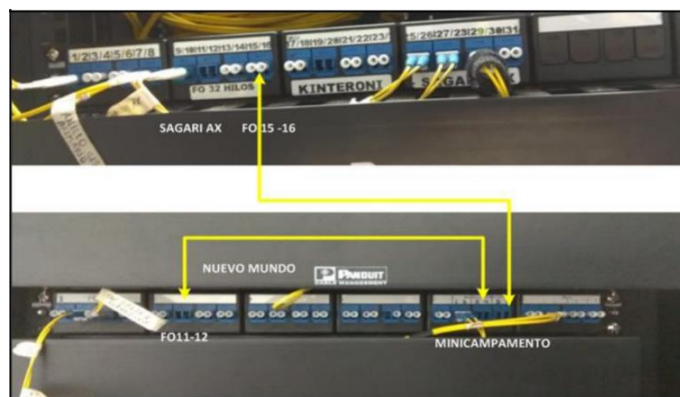


Figura 17. Fotografía Patch Panel F.O en U100 Locación Kinteroni. Fuente: Elaboración Propia

3.1.2.2 Altura de la Antena

Para determinar la altura en la que se instalará la antena de transmisión en la locación Kinteroni, debemos de tener en cuenta que la frecuencia de trabajo será 420MHz, una potencia de transmisión de 10W, ganancia de antenas de 8.10dBi y una atenuación en cables y conectores de 0.22dBi.

$$P_{Re\ c} = -L_b + P_T - A_{Coax} + G_T + G_R$$

$$P_{Re\ c} = -L_b + 55,98 \quad \dots (5)$$

Hallando L_b , quien dependerá de los factores de corrección de $a(hm)$ y k en la siguiente ecuación.

$$L_b \text{ (dB)} = 69,55 + 26,16 \log f - 13,82 \log(ht) + [44,9 - 6,55 \log(ht)] \log d - a(hm) - K$$

$$L_b \text{ (dB)} = 112,417 - 13,82 \log(ht) + [44,9 - 6,55 \log(ht)] \log d \quad \dots (6)$$

A continuación, colocaremos los cálculos de los niveles de señal de acuerdo a la distancia que existe entre la antena Tx y la Rx, resultados en las tablas 6 y 7.

Para $h_{tx} = 30m$

Tabla 6: Tabla de valores para una altura de Antena Tx de 30metros en Kinteroni.

Fuente: Propia

Distancia (Km)	L_b (dB)	P_{rec} (dBm)
1	92	- 36,02
2	102,60	- 46,62
3	108,80	- 52,82
4	113,20	- 57,22
5	116,62	- 60,64
6	119,41	- 63,43
7	121,76	- 65,78
8	123,81	- 67,83
9	125,61	- 69,63
10	127,22	- 71,24

Para $h_{tx} = 35\text{m}$

Tabla 7: Tabla de valores para una altura de Antena Tx de 35metros en Kinteroni.

Fuente: Propia

Distancia (Km)	L _b (dB)	Prec (dBm)
1	91,08	- 35,1
2	101,55	- 45,57
3	107,68	- 51,70
4	112,02	- 56,04
5	115,40	- 59,42
6	118,15	- 62,17
7	120,48	- 64,50
8	122,50	- 66,52
9	124,28	- 68,30
10	125,87	- 69,89

3.1.2.3 De la Torre

En la base de la torre se tendrá que implementar 01 Gabinete Tetra, 01 Mesa de Paneles Solares, y 01 Triada de Pozos a tierra.

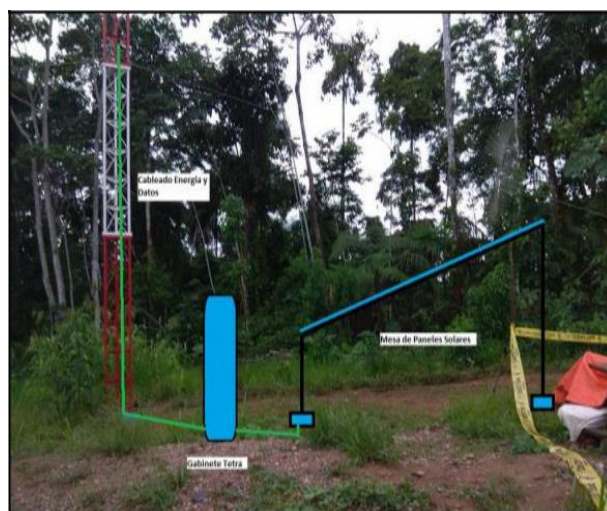


Figura 18. Fotografía Torre y ubicación del site Locación Kinteron. Fuente: Elaboración Propia

Por otro lado, en la parte superior de la torre ventana, se instalará la antena para el enlace microondas y los equipos de transmisión y recepción de señal Tetra.



Figura 19. Fotografía Torre para antenas Tetra (TRX). Fuente: Elaboración Propia

3.1.3 Locación Sagari Ax

La locación de Sagari Ax está ubicado en latitud: $11^{\circ}27'43.94''S$ longitud: $73^{\circ}18'43.21''O$, al igual que en Kinteroni, el personal que labora en Repsol ingresa a esta locación cuando se planifica un trabajo programado o ante alguna eventualidad. Por ello es importante que en todo momento se tenga una buena comunicación con el personal ubicado en las demás locaciones. Sagari Ax cuenta con un CPD dentro de la sala de operadores, en donde están instalados los equipos de comunicaciones, así mismo cuenta con una torre ventada de 45m de altura, instalada a unos 350m del CPD en la colina; se debe de tener en presente que entre estos dos puntos no se cuenta con ningún medio de enlace.



Figura 20. Fotografía panorámica de puntos en Locación Sagari Ax. Fuente: Elaboración Propia

3.1.3.1 Equipos y Conexiones

El ODF del reflejo de fibra óptica desde la U100 en Kinteroni se encuentra en el CPD dentro de la Sala de Operadores de Sagari Ax (conectores LC), los reflejos utilizados para el enlace son el par 15 – 16 del patch panel de fibra óptica. Desde el CPD no se tiene ninguna conexión hacia la ubicación de la torre, por ello se implementará un enlace microonda a 13GHz, para lo cual se instalará una antena mw en el exterior de la Sala de Operadores en un mástil de 12m, que está ubicado a unos 20 metros desde el CPD; la otra antena será instalada en la Torre principal para establecer el enlace punto a punto, en esta misma torre se instalan los equipos de transmisión y recepción para el sistema Tetra.

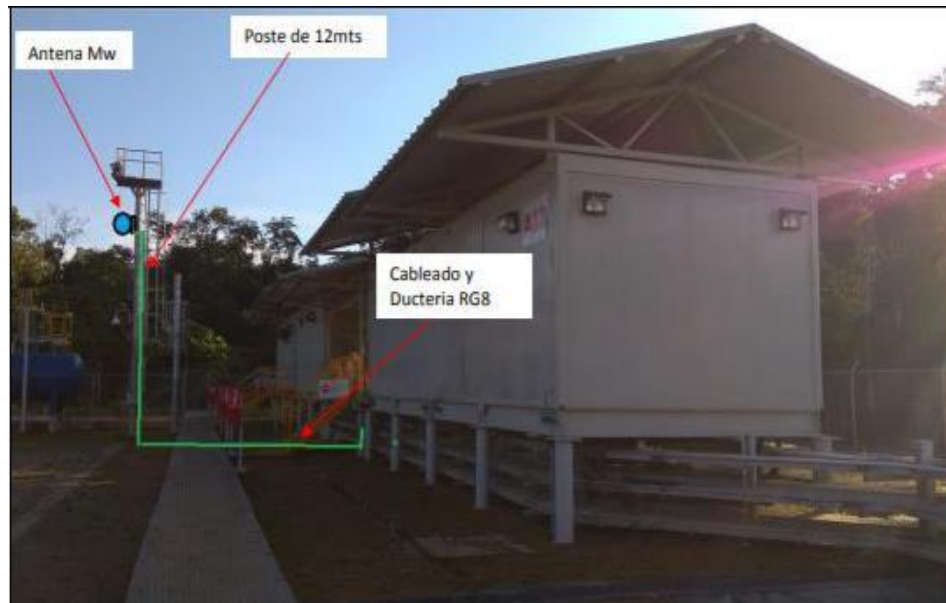


Figura 21. Fotografía de mástil para antena de microondas en exterior de CPD Sagari Ax. Fuente:

Elaboración Propia

El par de fibra óptica 17 - 18 se utilizará para el retorno del enlace con el fin de brindar servicio a los equipos a instalarse en Sagari Bx, en dicha locación se utilizará el par 15-16 del reflejo del ODF desde el CPD de Sagari Ax.

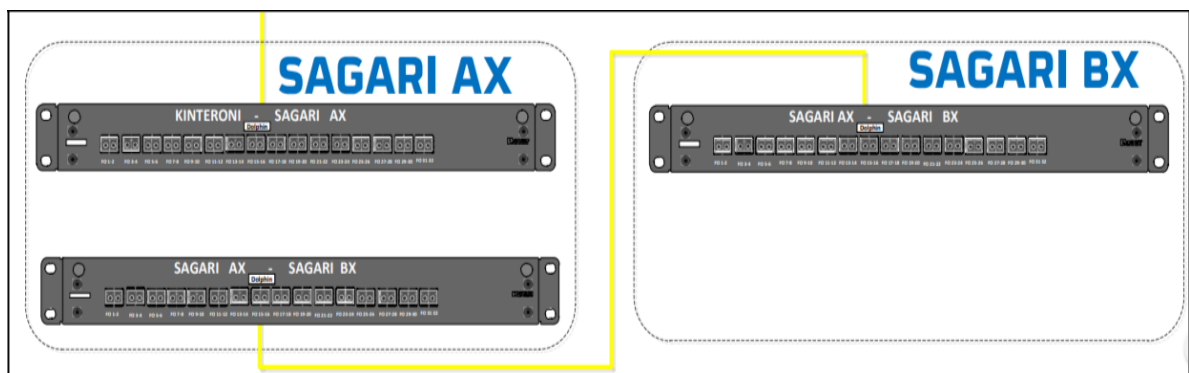


Figura 22. Patch Panel F.O de CPD Sagari Ax hacia patch panel en Sagari Bx. Fuente: Elaboración

Propia

3.1.3.2 Altura de la Antena

Para determinar la altura en la que se instalará la antena de transmisión en la locación Sagari Ax, debemos de tener en cuenta que la frecuencia de trabajo será 420MHz, una potencia de transmisión de 10W, ganancia de antenas de 8.10dBi y una atenuación en cables y conectores de 0.22dBi.

$$P_{Re\ c} = -L_b + P_T - A_{Coax} + G_T + G_R$$

$$P_{Re\ c} = -L_b + 55,98 \quad \dots (5)$$

Hallando L_b , quien dependerá de los factores de corrección de $a(hm)$ y k en la siguiente ecuación.

$$L_b \text{ (dB)} = 69,55 + 26,16 \log f - 13,82 \log(ht) + [44,9 - 6,55 \log(ht)] \log d - a(hm) - K$$

$$L_b \text{ (dB)} = 112,417 - 13,82 \log(ht) + [44,9 - 6,55 \log(ht)] \log d \quad \dots (6)$$

A continuación, colocaremos los cálculos de los niveles de señal de acuerdo a la distancia que existe entre la antena Tx y la Rx

Para $h_{tx} = 30m$

Tabla 8: Tabla de valores para una altura de Antena Tx de 30metros en Sagari Ax.

Fuente: Propia

Distancia (Km)	L_b (dB)	P_{rec} (dBm)
1	92	- 36,02
2	102,60	- 46,62
3	108,80	- 52,82
4	113,20	- 57,22
5	116,62	- 60,64
6	119,41	- 63,43
7	121,76	- 65,78

8	123,81	- 67,83
9	125,61	- 69,63
10	127,22	- 71,24

Para htx = 35m

Tabla 9: Tabla de valores para una altura de Antena Tx de 35metros en Sagari Ax.

Fuente: Propia

Distancia (Km)	Lb (dB)	Prec (dBm)
1	91,08	- 35,1
2	101,55	- 45,57
3	107,68	- 51,70
4	112,02	- 56,04
5	115,40	- 59,42
6	118,15	- 62,17
7	120,48	- 64,50
8	122,50	- 66,52
9	124,28	- 68,30
10	125,87	- 69,89

3.1.3.3 De la Torre

En la base de la torre se tendrá que implementar 01 Gabinete Tetra, 01 Mesa de Paneles Solares, y 01 Triada de Pozos a tierra.

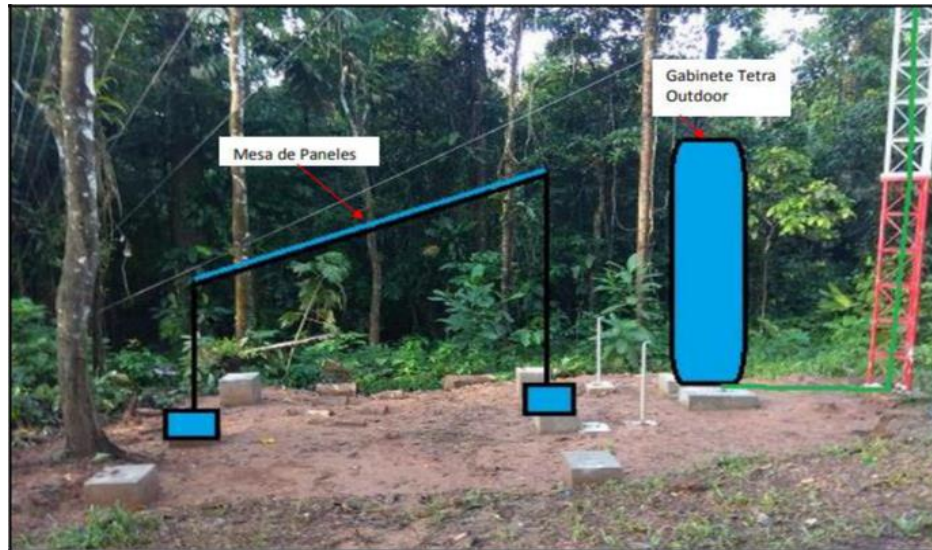


Figura 23. Fotografía Torre y ubicación del site de Sagari Ax. Fuente: Elaboración Propia

Por otro lado en la parte superior de la torre ventana, se instalará la antena microondas para el enlace punto a punto, y los equipos de transmisión y recepción de señal Tetra.



Figura 24. Fotografía Torre para antenas Tetra (TRX) – Sagari Ax. Fuente: Elaboración Propia

3.1.4 Locación Sagari Bx

La locación de Sagari Ax está ubicado en latitud: 11°25'52.72"S longitud: 73°21'26.14"O, al igual que en las anteriores locaciones, el personal que labora en Repsol viaja a Sagari Bx cuando se ha planificado un trabajo o algún suceso inesperado. Ante esto, es de suma importancia que la comunicación entre el personal de Repsol y sus contratistas sea la más óptima. Esta locación cuenta con un CPD dentro de la sala de operadores, en donde están instalados los equipos de comunicaciones, así mismo cuenta con una torre ventada de 45m de altura, instalada a unos 300m del CPD en la colina; se debe de tener presente que entre estos dos puntos no se cuenta con ningún medio de enlace.



Figura 25. Fotografía panorámica de puntos en Locación Sagari Bx. Fuente: Elaboración Propia

3.1.4.1 Equipos y Conexiones

El ODF del reflejo de fibra óptica desde Sagari Ax se encuentra en el CPD dentro de la Sala de Operadores de Sagari Bx (conectores LC), los reflejos utilizados para el enlace son el par 15 – 16 del patch panel de fibra óptica. Desde el CPD no se tiene ninguna conexión hacia la ubicación de la torre principal, por ello se implementará un enlace microonda a 13GHz, para lo cual se instalará una antena mw en el exterior de la Sala de Operadores en un mástil de 10m, que está ubicado a unos 35 metros del CPD; la otra antena será instalada en la Torre principal para establecer el enlace punto a punto, en esta misma torre se instalan los equipos de transmisión y recepción para el sistema Tetra.



Figura 26. Fotografía de mástil para antena microonda en exterior de CPD Sagari Bx. Fuente:

Elaboración Propia

Sagari Bx es la última locación que se integra al enlace troncal para el sistema Tetra, por ello no se tiene un reflejo de retorno como en las anteriores locaciones. El servicio llegará al par 15-16 y se distribuirá hacia el equipo de comunicación.



Figura 27. Patch Panel F.O de CPD Sagari Bx. Fuente: Elaboración Propia

3.1.4.2 Altura de la Antena

Para determinar la altura en la que se instalará la antena de transmisión en la locación Sagari Bx, debemos de tener en cuenta que la frecuencia de trabajo será 420MHz, una potencia de transmisión de 10W, ganancia de antenas de 8.10dBi y una atenuación en cables y conectores de 0.22dBi.

$$P_{Re\ c} = -L_b + P_T - A_{Coax} + G_T + G_R$$

$$P_{Re\ c} = -L_b + 55,98 \quad \dots (5)$$

Hallando L_b , quien dependerá de los factores de corrección de $a(hm)$ y k en la siguiente ecuación.

$$L_b\ (dB) = 69,55 + 26,16 \log f - 13,82 \log(ht) + [44,9 - 6,55 \log(ht)] \log d - a(hm) - K$$

$$L_b \text{ (dB)} = 112,417 - 13,82 \log(ht) + [44,9 - 6,55 \log(ht)] \log d \dots (6)$$

En la tabla 10 y 11 se detallan los cálculos de los niveles de señal de acuerdo a la distancia que existe entre la antena Tx y la Rx

Para $h_{tx} = 30\text{m}$

Tabla 10: Tabla de valores para una altura de Antena Tx de 35metros en Sagari Bx.

Fuente: Propia

Distancia (Km)	L_b (dB)	P_{rec} (dBm)
1	92	- 36,02
2	102,60	- 46,62
3	108,80	- 52,82
4	113,20	- 57,22
5	116,62	- 60,64
6	119,41	- 63,43
7	121,76	- 65,78
8	123,81	- 67,83
9	125,61	- 69,63
10	127,22	- 71,24

Para $h_{tx} = 35\text{m}$

Tabla 11: Tabla de valores para una altura de Antena Tx de 35metros en Sagari Bx.

Fuente: Propia

Distancia (Km)	L_b (dB)	P_{rec} (dBm)
1	91,08	- 35,1
2	101,55	- 45,57
3	107,68	- 51,70
4	112,02	- 56,04
5	115,40	- 59,42
6	118,15	- 62,17

7	120,48	- 64,50
8	122,50	- 66,52
9	124,28	- 68,30
10	125,87	- 69,89

3.1.4.3 De la Torre

En la base de la torre se tendrá que implementar 01 Gabinete Tetra, 01 Mesa de Paneles Solares, y 01 Triada de Pozos a tierra.

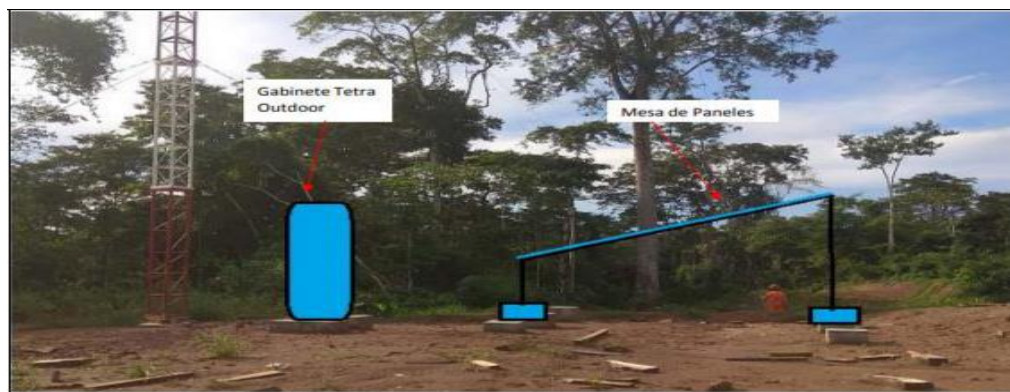


Figura 28. Fotografía Torre y ubicación del site de Sagari Bx. Fuente: Elaboración Propia

Por otro lado, en la parte superior de la torre ventana, se instalará la antena microondas para el enlace punto a punto, y los equipos de transmisión y recepción de señal Tetra.

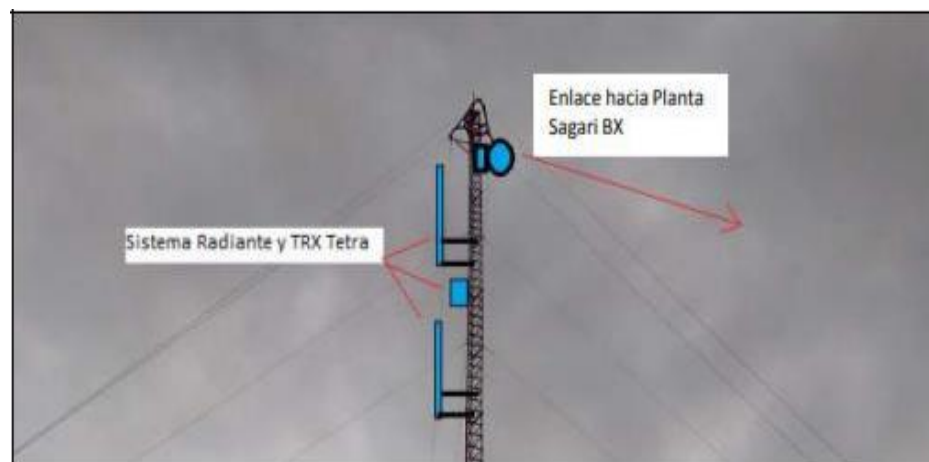


Figura 29. Fotografía Torre para antenas Tetra (TRX) – Sagari Bx. Fuente: Elaboración Propia

3.2 Diseñando una nueva arquitectura de Red Tetra para brindar servicios de comunicaciones en la totalidad del área de trabajo del personal que labora en el Lote 57 de Repsol.

El diseño de la nueva arquitectura de red para el sistema de comunicaciones, se planteó de acuerdo a la distancia entre campamentos y locaciones, y a la cobertura de señal en cada una de ellas.

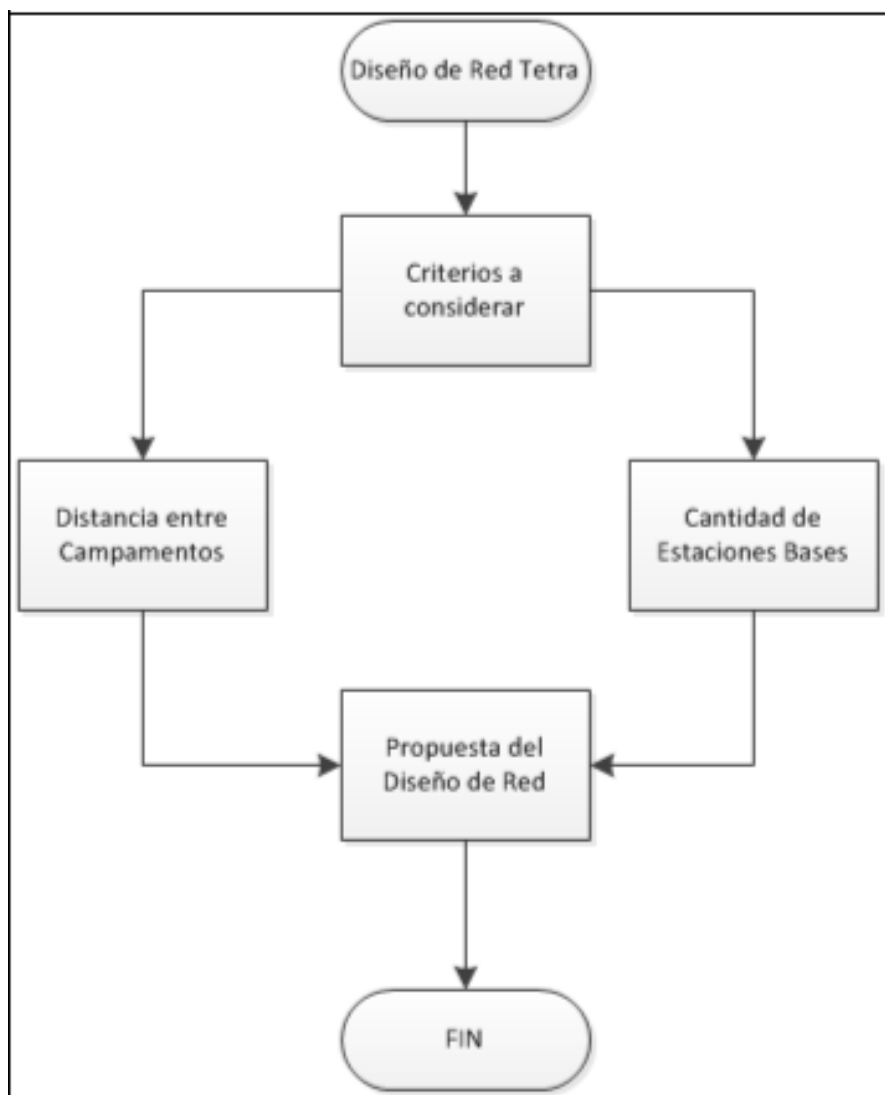


Figura 30. Diagrama de Bloques del Diseño de Red. Fuente: Elaboración Propia

3.2.1 Distancia entre Campamentos.

Para obtener datos de la distancia con mayor exactitud entre los campamentos y locaciones, se recurrió al software Google Earth Pro.

3.2.1.1 Campamento Nuevo Mundo – Locación Kinteroni

Existe una distancia aproximada de 12.08km entre la sala de operadores U300 en el campamento Nuevo Mundo y el mini campamento en la Locación Kinteroni.

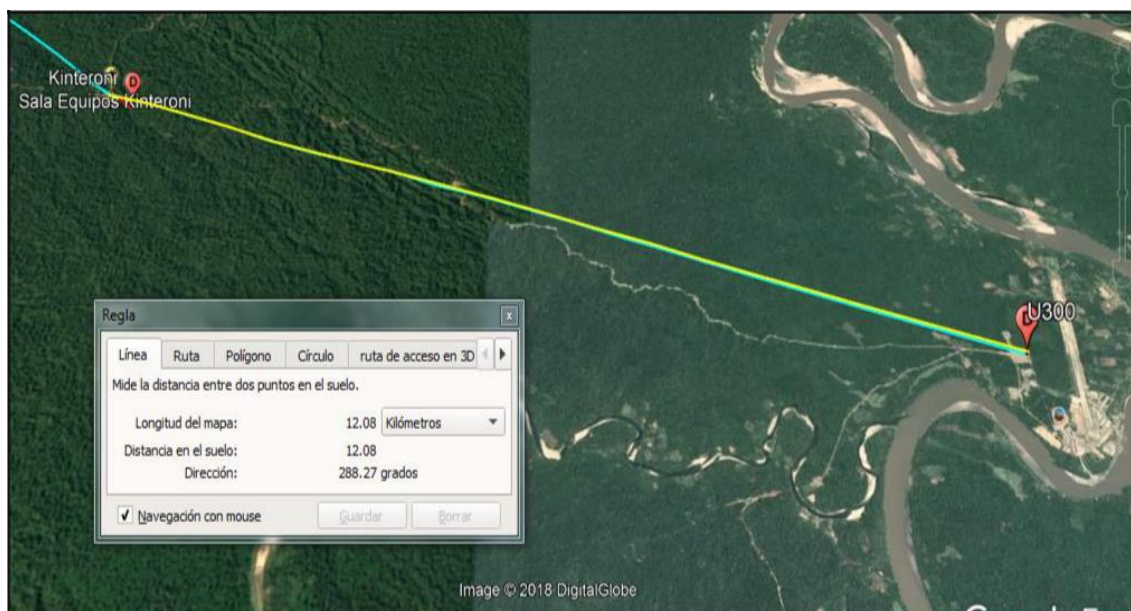


Figura 31. Distancia entre U300(NM) y Locación Kinteroni. Fuente: Elaboración Propia

3.2.1.2 Locación Kinteroni – Locación Sagari Ax

Desde la locación Kinteroni hacia la locación Sagari Ax se tiene una distancia aproximadamente de 8.31 Kilómetros, el único medio que se tiene para llegar entre estos campamentos es por helicóptero, el tiempo estimado de vuelo es de 7 a 8 minutos.

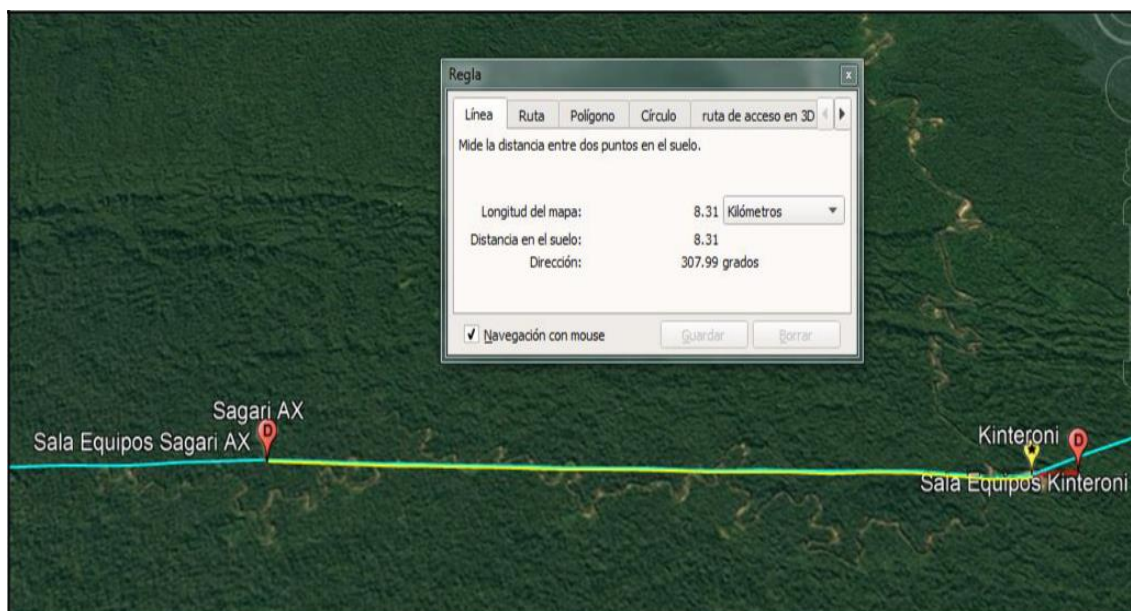


Figura 32. Distancia entre Locación Kinteroni y Sagari Ax. Fuente: Elaboración Propia

3.2.1.3 Locación Sagari Ax – Locación Sagari Bx

Desde la locación Sagari Ax hacia Sagari Bx se tiene una distancia aproximadamente de 6.02 Kilómetros, y en helicóptero el tiempo estimado de llegada es de 4 a 5 minutos.

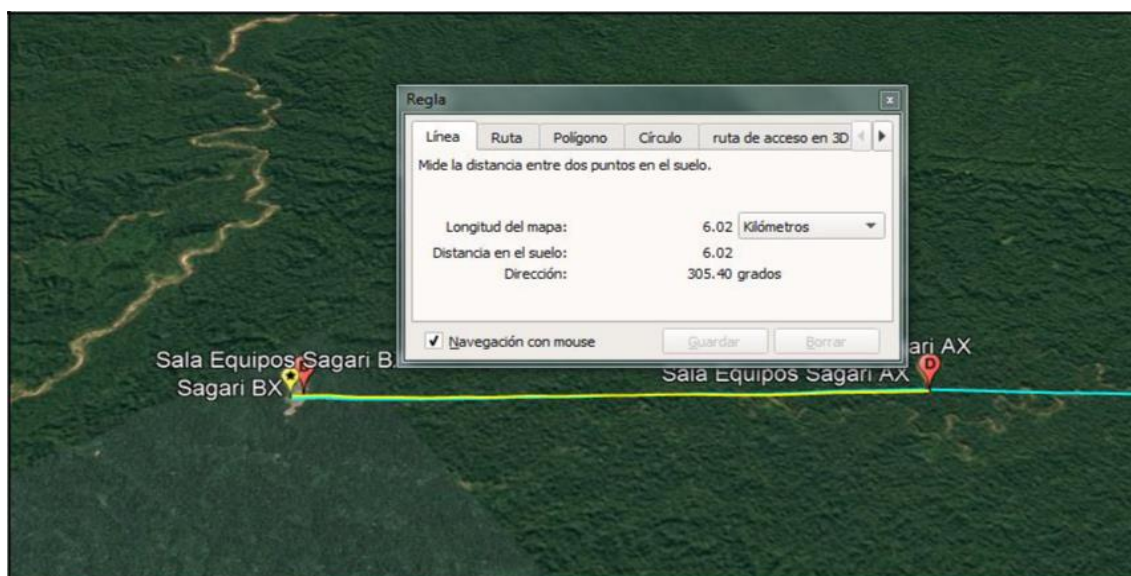


Figura 33. Distancia entre Sagari Ax y Sagari Bx. Fuente: Elaboración Propia.

3.2.2 Cobertura de Señal

En conjunto con el personal de Dolphin (empresa contratista de Repsol), se realizó un estudio de campo para determinar y asegurar en las 04 áreas de locaciones y campamento, se pueden obtener buenos parámetros de cobertura de señal. Para ello se realizó la simulación colocando una estación base para cada una de las sedes.

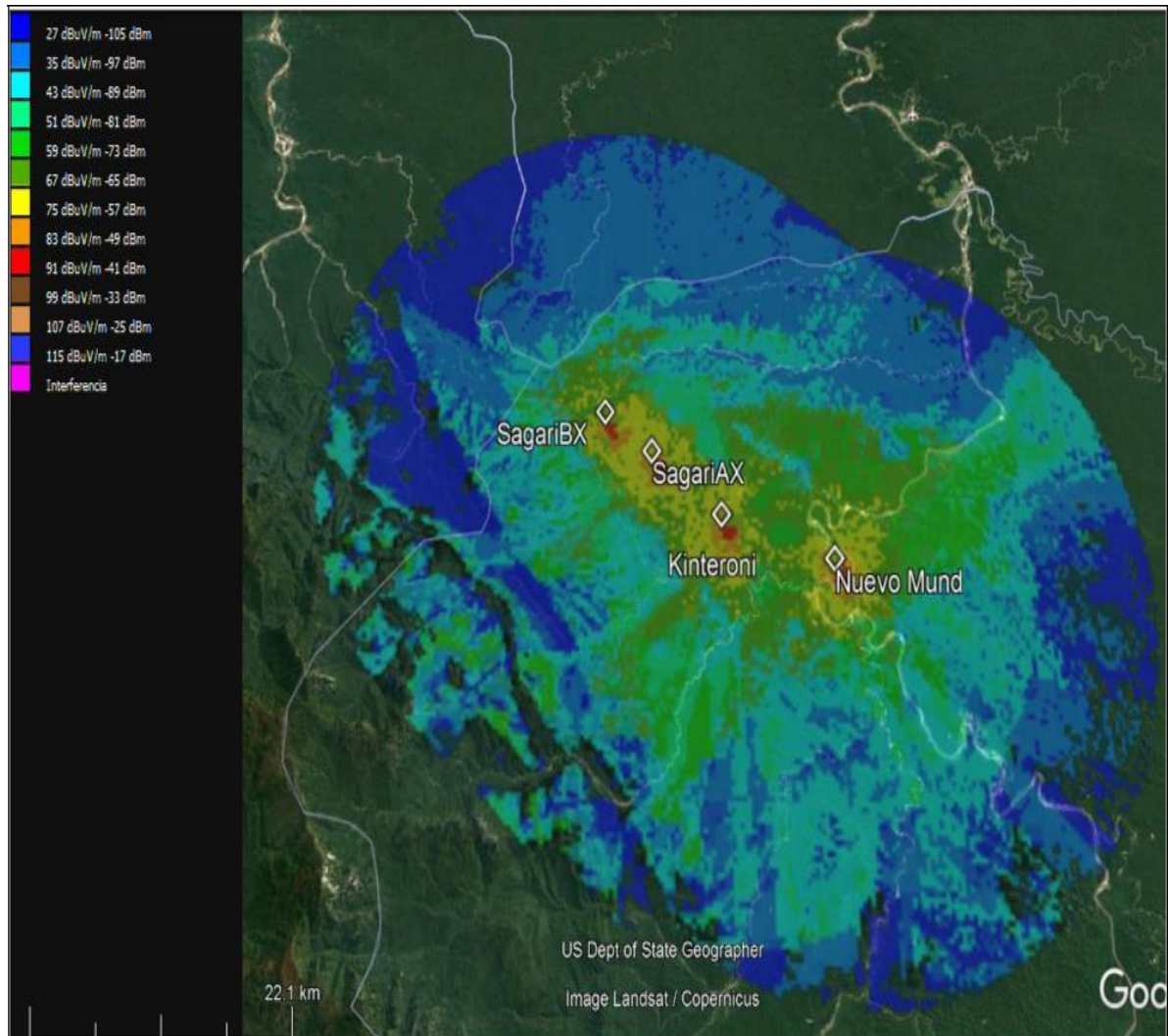


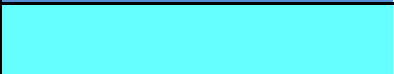












Figura 34. Mapa de calor de intensidad de señal en Locaciones y Campamento. Fuente: Elaboración

Propia

Tabla 12: *Relación de color con intensidad de señal. Fuente: Google Earth Pro.*

<i>Item</i>	<i>Intensidad de Señal</i>	<i>Color</i>
1	27 dBuV/m -105dBm	
2	34 dBuV/m -98dBm	
3	41 dBuV/m -91dBm	
4	48 dBuV/m -84dBm	
5	55 dBuV/m -77dBm	
6	62 dBuV/m -70dBm	
7	69 dBuV/m -63dBm	
8	76 dBuV/m -56dBm	
9	83 dBuV/m -49dBm	
10	90 dBuV/m -42dBm	
11	97 dBuV/m -35dBm	
12	104 dBuV/m -28dBm	
13	Interferencia	

3.2.2.1 Cobertura de señal en Nuevo Mundo

Según los cálculos obtenidos en la tabla 5, podemos obtener el siguiente diagrama de señales los cuales contrastan con los resultados del Google Earth.

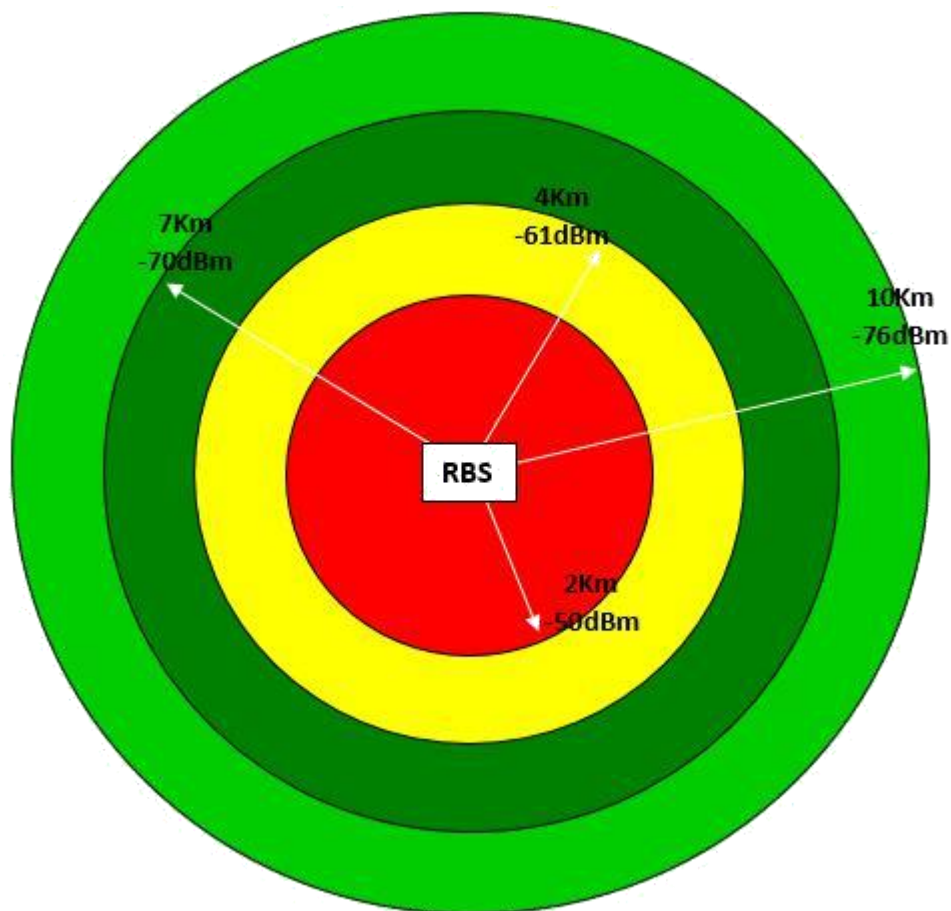


Figura 35. Diagrama de intensidad de señal en Nuevo Mundo. Fuente: Elaboración Propia

3.2.2.2 Cobertura de señal en Kinteroni – Sagari Ax y Sagari Bx

Al realizar el estudio de campo, se evidenció que existía una gran similitud en las zonas de trabajo, distribución de áreas, ubicación de campamentos, sala de operadores, en Kinteroni, Sagari Ax y Sagari Bx; por ende, se obtuvo el mismo diagrama de tortas para determinar la intensidad de señal dependiendo de la distancia.

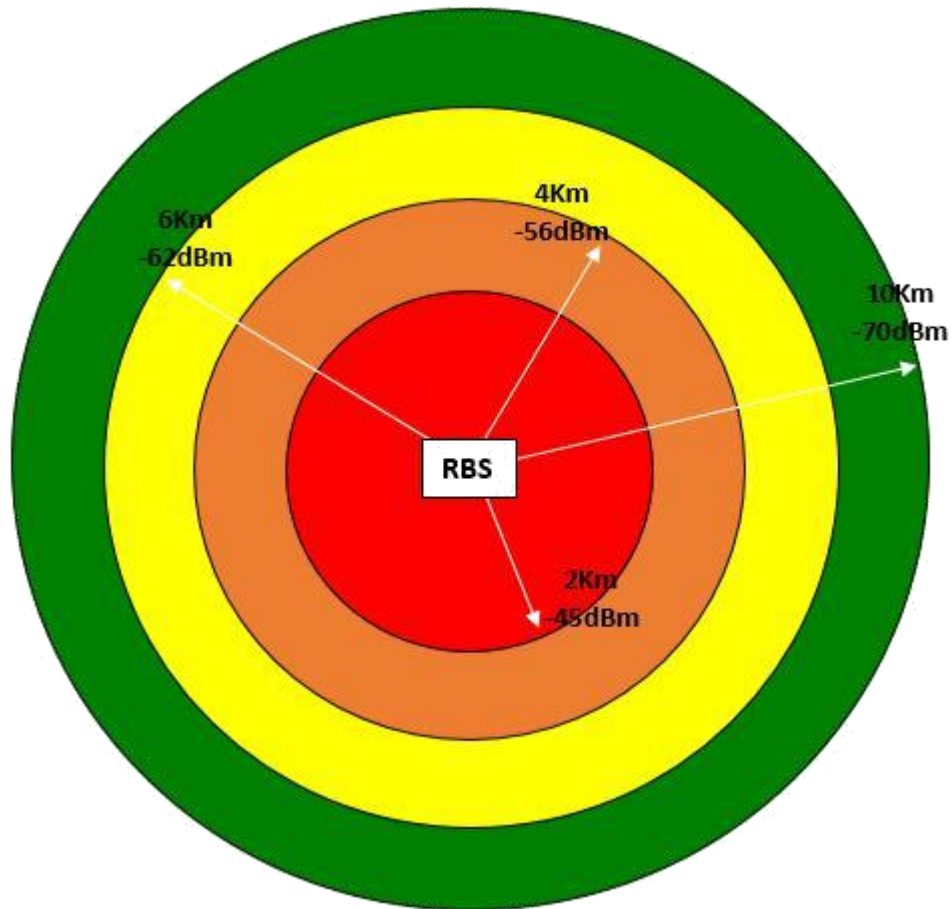


Figura 36. Diagrama de intensidad de señal en Kinteroni, Sagari Ax y Sagari Bx. Fuente: Elaboración Propia

3.2.3 Diseño de Red

Se planteó el siguiente Diseño de Red de acuerdo a las necesidades de la implementación, teniendo en cuenta las facilidades con las que se cuentan. Es por ello que se definió que los enlaces troncales entre los nodos serán mediante fibra óptica que cuentan con conexión entre las salas de operadores de cada una de las locaciones; sin embargo, en los casos que no se cuente con un medio de comunicación como es el caso desde los campamentos hacia las estaciones bases, se utilizará un enlace microondas punto a punto que trabaje a 13GHz.

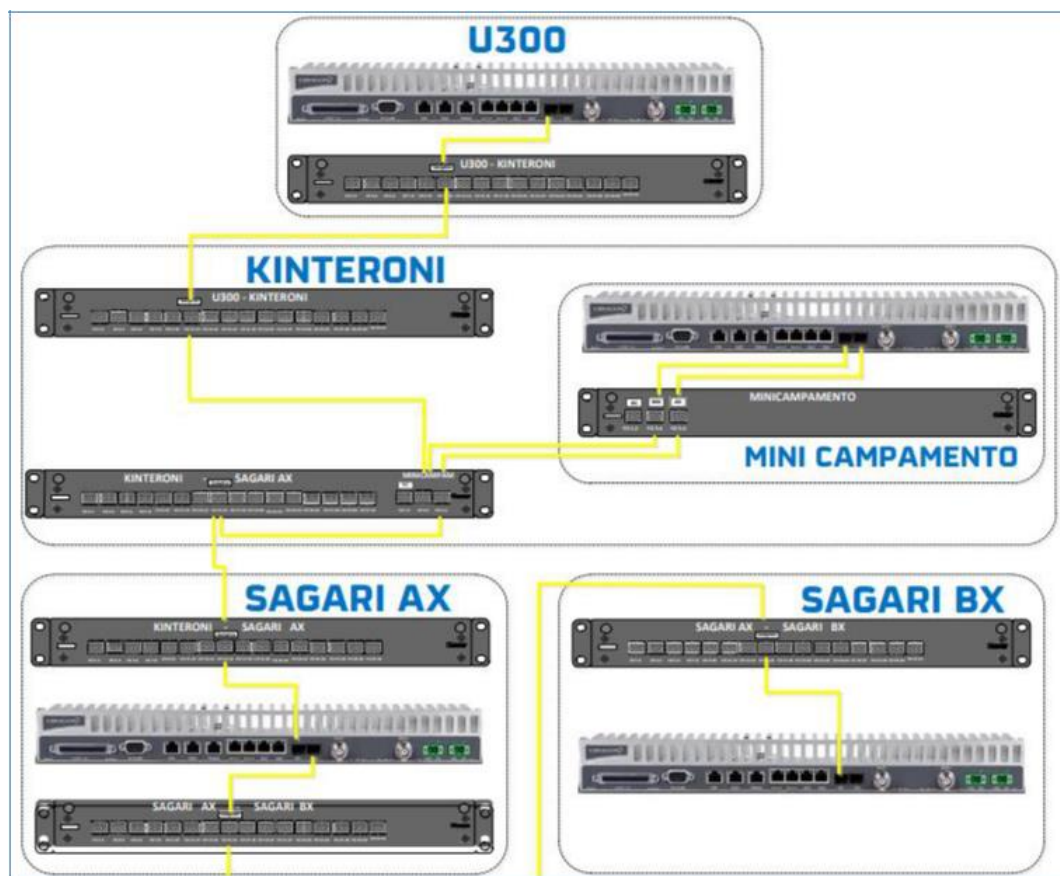


Figura 37. Diagrama de Conexión de fibra óptica entre locaciones. Fuente: Elaboración Propia

Por las facilidades que se tenían en cada uno de las locaciones, se implementará una red Tipo Bus. Adicional a ello en las locaciones Kinterni, Sagari Ax y Sagari Bx se deberá de instalar un enlace microondas hacia las estaciones bases de acuerdo al diagrama de red descrito.

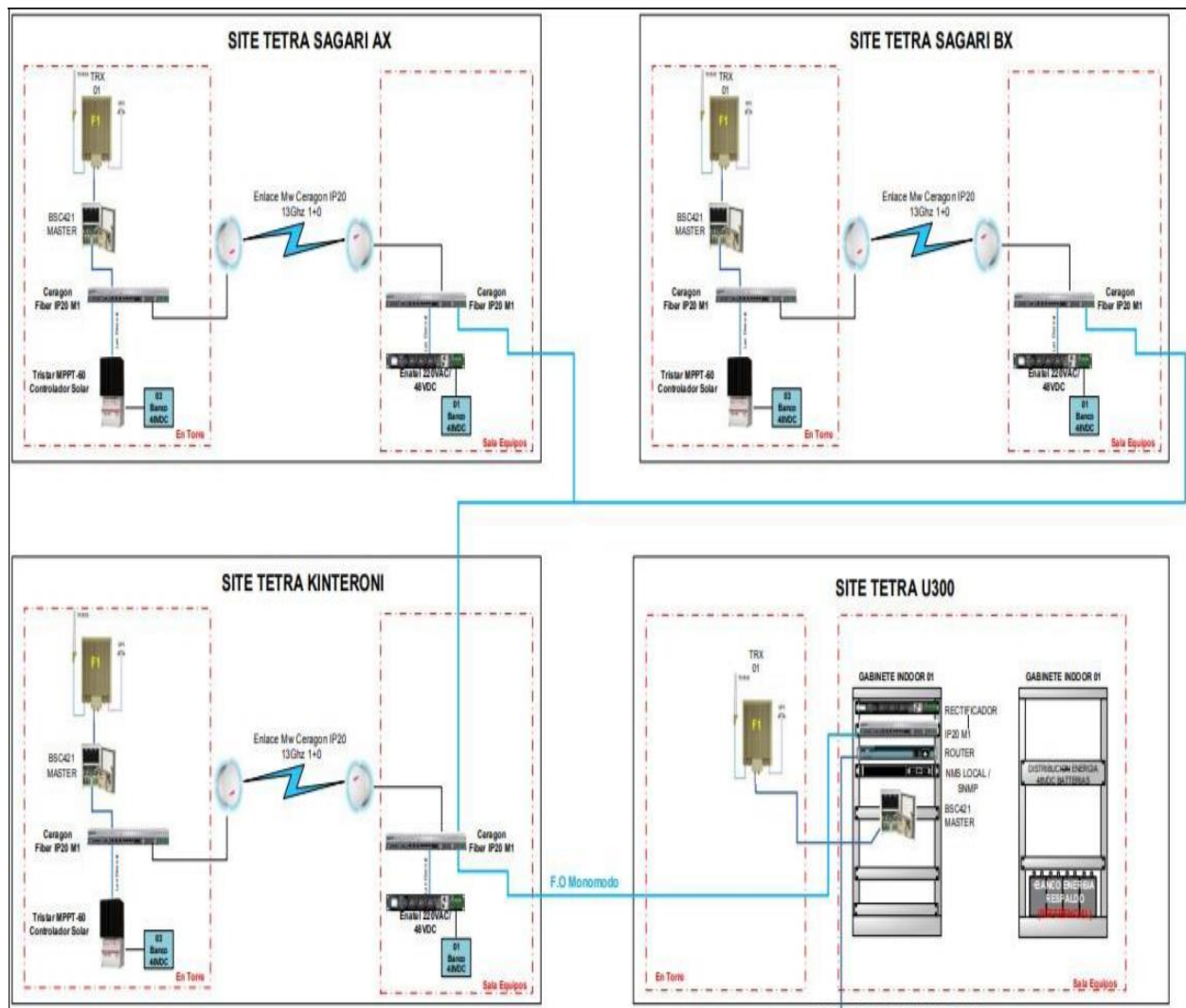


Figura 38. Diseño y Prototipo Infraestructura de Red Lote 57. Fuente: Elaboración Propia

3.3 Implementando el sistema troncalizado Tetra en las locaciones que comprenden el Lote 57 de Repsol.

La implementación del Sistema Troncalizado Tetra sigue los pasos de acuerdo a lo explicado en el siguiente diagrama de bloques.

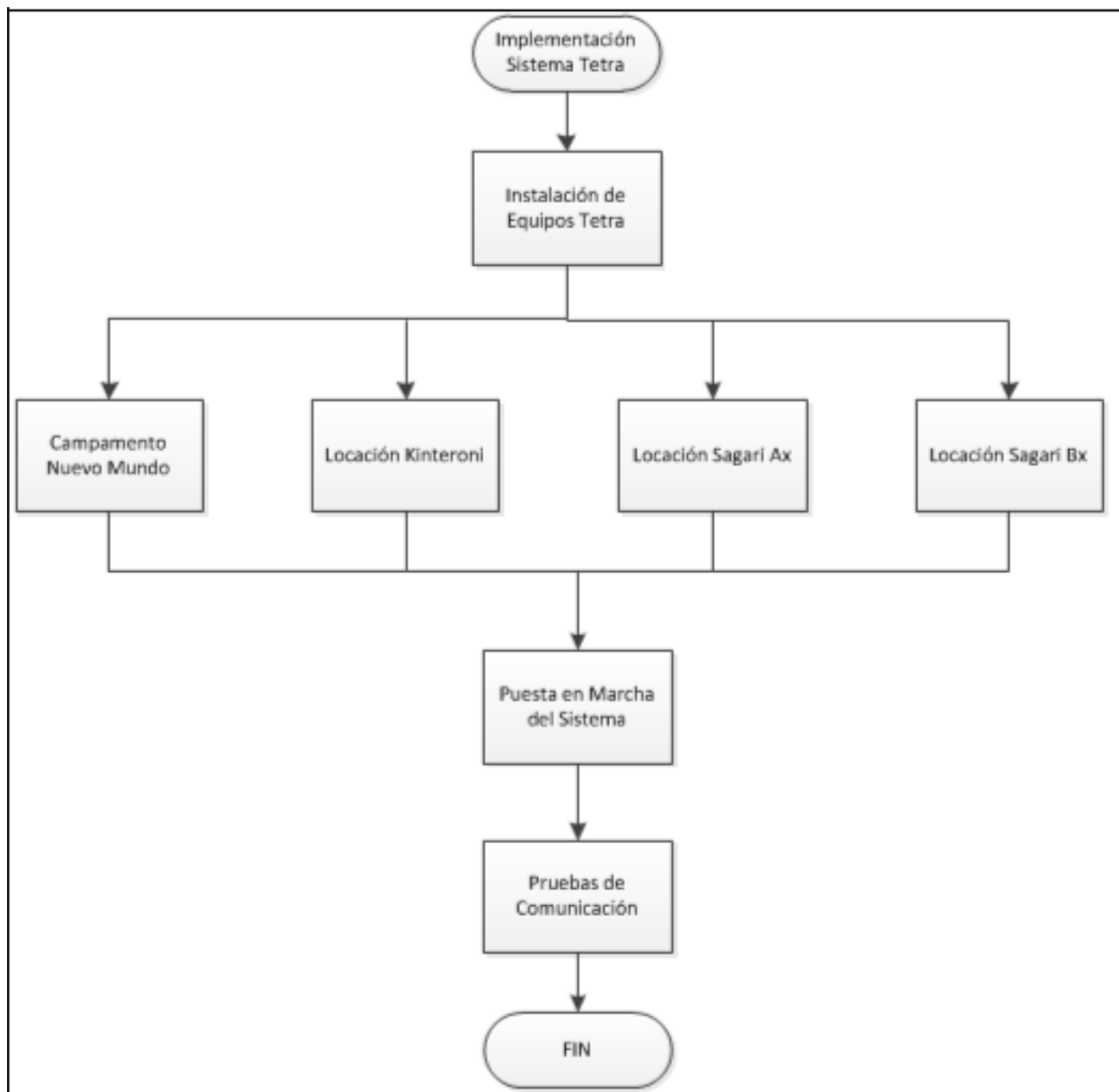


Figura 39. Diagrama de Bloques de la Implementación. Fuente: Elaboración Propia

3.3.1 De la Implementación

La implementación se realizó instalando lo siguientes:

- 01 Estación Base y Core Tetra en La Base Logística Nuevo Mundo – U300
- 01 Estación Base en Locación Kinteroni
- 01 Estación Base en Locación Sagari Ax

- 01 Estación Base en Locación Sagari Bx

3.3.1.1 Sistema de Puesta a Tierra

En U300 Nuevo Mundo, se contaba con un STP implementado, por ello solo se procedió con la implementación del sistema de puesta a tierra en las locaciones de Kinteroni, Sagari Ax y Sagari Bx.

Para obtener la resistividad del suelo en las locaciones, nos basamos en el resumen ejecutivo del estudio de impacto ambiental para el proyecto de desarrollo del campo en el Lote 57, el cual nos indica que se identificaron suelos homogéneos de granulometría granular fina con finos limosos, arcillosos y suelos de granulometría fina de arcilla, limo de baja y alta compresibilidad de clasificación SUCS SM, SC, SC-SM y finos CL, CH, MH respectivamente.

De acuerdo a ello, se puede verificar la resistividad del suelo según la siguiente tabla

Tabla 13: Tabla de resistividad de suelos Fuente: Publicación Técnica No. 325

Sanfandila, Qro, 2010. Fuente: eschoform.educarex.es

Naturaleza del Material	Resistividad ohm-m
Terrenos pantanosos	De algunas unidades a 30
Limo	20 a 100
Humus	10 a 150
Turba	5 a 100
Arcilla Plástica	50
Margas y arcillas compactadas	100 a 200

Arena arcillosa	30 a 40
Arena silíceas	50 a 500
Suelo con boleo cubierto de césped	200 a 3000
Suelo de boleos	300 a 500
Calizas blandas	1500 a 3000
Calizas compactadas	100 a 300
Calizas agrietadas	1000 a 5000
Pizarras	500 a 1000
Rocas de mica y cuarzo	800
Granitos y gneis procedentes de alteración	1500 a 10000
Granitos y gneis muy alterados	100 a 600

Para el STP en las locaciones de kinteroni, Sagari Ax y Bx utilizaremos varillas de cobre de 3m de longitud y 19mm de espesor, el cálculo de la resistencia dependerá de la siguiente fórmula:

— — — — —

Donde:

ρ : Resistividad del suelo = 30 - 40 ohm-m

L: Longitud de varilla de cobre = 3m

a: diámetro de varilla de cobre = 0,019m

s: separación entre varillas de cobre

De esta operatividad podemos obtener los siguientes valores:

Tabla 14: Tabla de resistencia del suelo. Fuente: Propia

Separación entre varillas (m)	Resistencia del suelo (ohm)		
s = 5	4,5	5,25	6
s = 6	4,06	4,06	4,64
s = 7	3,15	3,675	4,2

3.3.1.2 Implementación del Sistema Tetra en Campamento Nuevo Mundo – U300

La implementación del Sistema Tetra en esta área se inició el 15 de Mayo, al ser Nuevo Mundo el campamento principal, y tener un Centro de Control presencial los 365 días del año, fue elegido para que en la Sala de Operadores de U-300 se instalara el Nodo Central del sistema de comunicación Tetra. En el gabinete de comunicación asignado al Sistema Tetra, se instaló el siguiente equipamiento.

- ✓ Rectificador Enatel.
- ✓ Switch Ceragon IP20.
- ✓ Switch Ceragon IP10 – L2.
 - a. Router board mikrotik.
 - b. Router cisco 2800.
 - c. 01 BSC421 Master

- d. Servidor IBM 01 (Servicio SNMP y NMS).
- e. Servidor IBM 02 (Dispatcher y Recorder).
- f. Brackers de 30A.

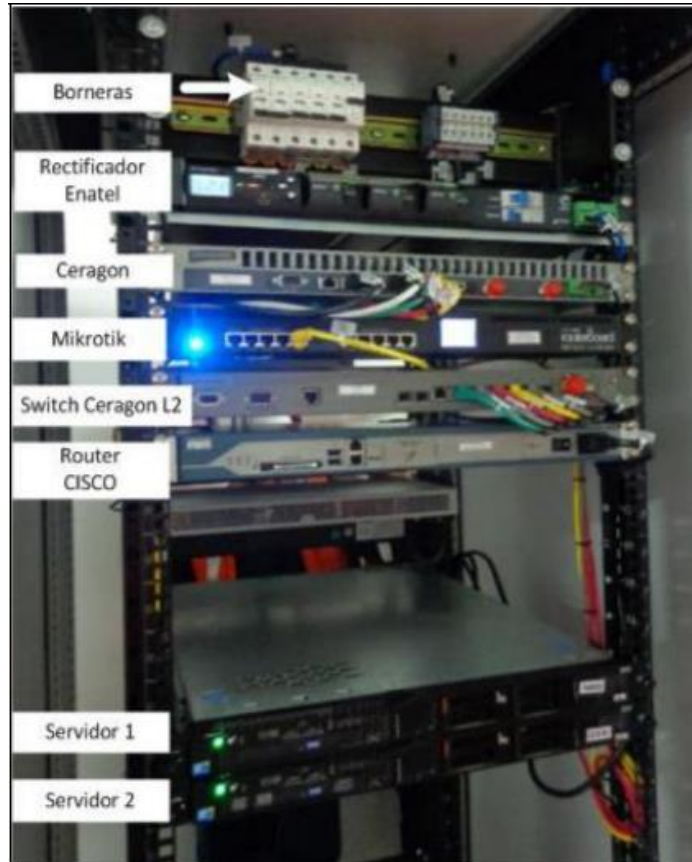


Figura 40. Fotografía Equipos instalados en rack de U300 Sala de Operadores. Fuente: Elaboración

Propia

En la parte exterior se realizó el izado de las Antenas y transmisor Tetra para ser instalados en un mástil de 25 metros. Desde el gabinete Tetra se tendió un cable Ethernet y un cable de poder a -52V hacia el trasmisor Tetra proveniente de la BSC y de los brackers respectivamente. El transmisor fue instalado entre las dos antenas tetra, como se detalla en las imágenes.

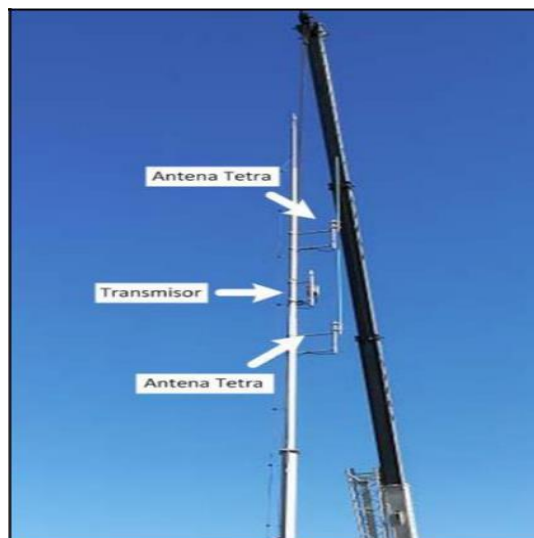


Figura 41. Fotografía Instalación de Antenas Tetra en Torre U300. Fuente: Elaboración Propia



Figura 42. Fotografía Instalación de Antenas Tetra en Torre U300. Fuente: Elaboración Propia

Desde el gabinete Tetra se tendió un patchcord de fibra óptica de aproximadamente 20 metros hacia el gabinete de comunicación dentro de la Sala de Control de U300 en donde se tuvo que realizar un reflejo hacia un patch panel de Fibra Óptica que va hacia el ODF de la locación contigua, en este caso sería Kinteroni.

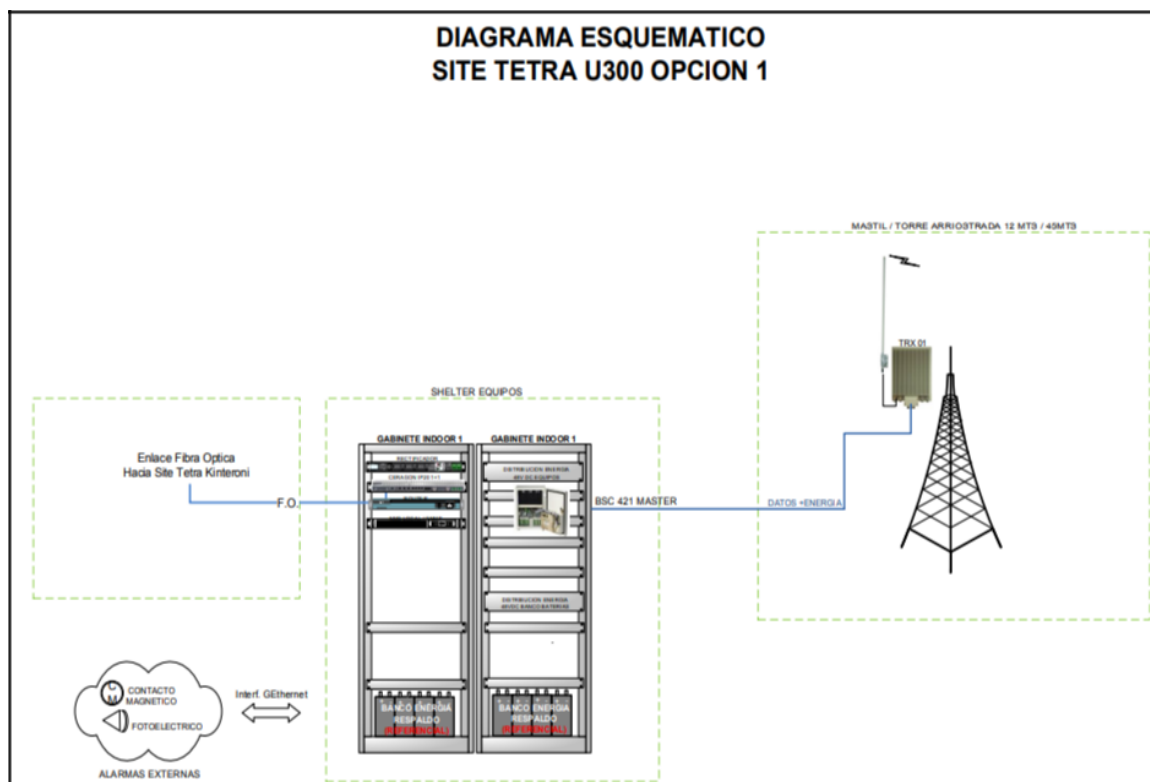


Figura 43. Diagrama de Red Tetra en Site Nuevo Mundo U300. Fuente: Elaboración Propia

3.3.1.3 Implementación del Sistema Tetra en Locación Kinteroni

Para la implementación de la Locación Kinteroni se trabajó de la siguiente manera. A una distancia aproximada de 500 metros en la parte superior de la colina, se instaló una torre de 45 metros, y sobre esta torre se montaron las antenas y transmisor Tetra, adicional a esto se instaló una Antena Andrew de 30cm de radio, para la red de transporte enlazados mediante un enlace microondas punto a punto, que trabaja a 13GHz. En el otro extremo, la antena se instaló en la parte superior de un mástil que se encuentra a unos 25 metros del gabinete de la Sala de Equipos del Minicampamento Kinteroni.

Desde la sala de equipos que se encuentra en el minicampamento se ha tendido un reflejo de F.O hacia la Sala de Operadores de Kinteroni (CPD Kinteroni), en donde se tienen los reflejos de fibra óptica desde Nuevo Mundo – U 300, y el reflejo de conexión

que brindará el servicio hacia Sagari AX.



Figura 44. Fotografía panorámica de Kinteroni. Fuente: Elaboración Propia

Los trabajos se realizaron en tres puntos específicos dentro de la locación Kinteroni:

Zona de la Sala de Operadores en U-100

En esta área, se encuentran instalados los reflejos de fibra óptica que llegan desde Nuevo Mundo U-300 y el reflejo que va hacia el minicampamento. En total se han utilizado 08 hilos de fibra para el servicio Tetra:

- a. 02 Hilos de F.O como reflejos desde Nuevo Mundo - U300.
- b. 02 Hilos de F.O brindan servicio a la sala de minicampamento.
- c. 02 Hilos de F.O de retorno de servicio desde la sala de minicampamento.
- d. 02 Hilos de F.O para brindar servicio hacia Sagari AX.

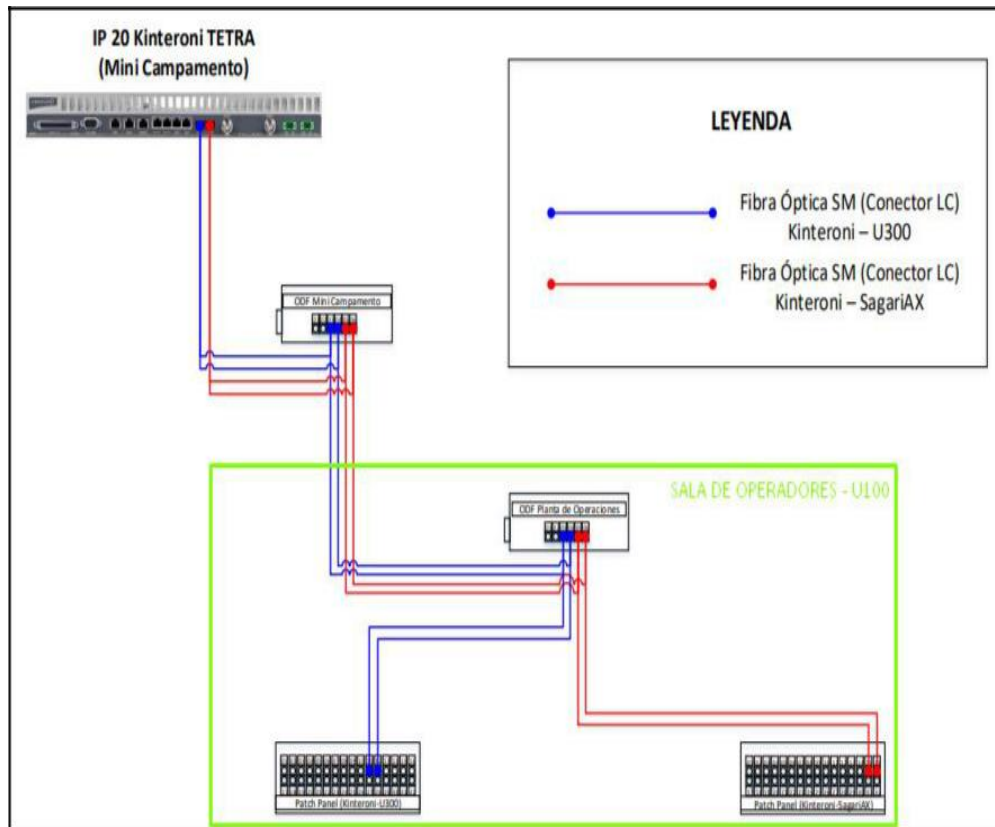


Figura 45. Conectividad de Fibra Óptica Repsol – Kinteroni. Fuente: Elaboración Propia

La zona de Minicampamento

En esta zona se recibe la portadora desde la Torre mediante el enlace microondas, y se realiza el cambio de medio a fibra óptica hacia la Sala de Operadores – U100 de Kinteroni. Para ello en el gabinete del minicampamento se instaló lo siguiente:

- ✓ Rectificador Enatel
- ✓ Switch ceragon (capa 2) – IDU Mw
- ✓ Banco de Batería

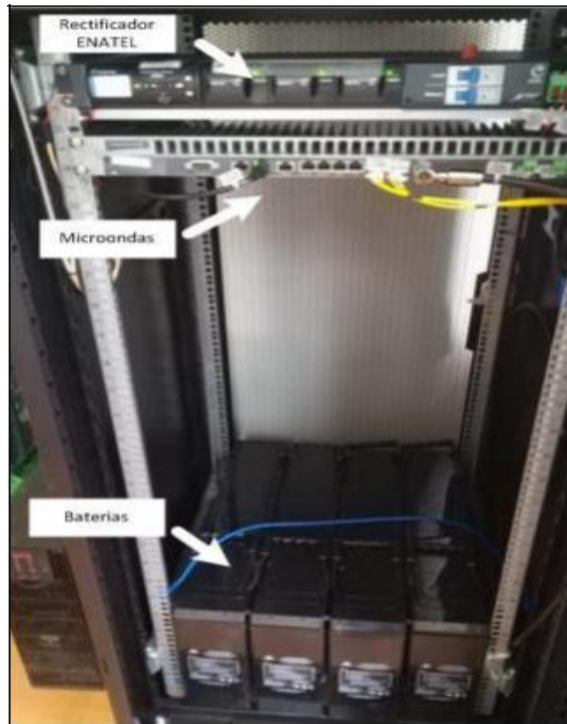


Figura 46. Gabinete Tetra en Minicampamento Kinteroni. Fuente: Elaboración Propia



Figura 47. Antena Mw en Mástil de Minicampamento Kinteroni. Fuente: Elaboración Propia

La zona de la Torre

En la parte alta del site Kinteroni en donde se encuentra instalada la torre de 45m, se instalaron los siguientes equipos en la base de la torre:

- ✓ 01 Gabinete hermético de 24 RU
- ✓ Rectificador Enatel
- ✓ Switch ceragon L2
- ✓ 01 BSC 421
- ✓ 8 Bancos de Batería.
- ✓ 12 Paneles solares.



Figura 48. Gabinete Tetra en Base de Torre Kinteroni. Fuente: Elaboración Propia

En la Torre de 45m se instalaron las antenas y el trasmisor Tetra; también una Antena Andrew de 30cm de radio para el enlace microondas.



Figura 49. Torre de 45m en Estación Base Kinteroni. Fuente: Elaboración Propia.

En tal sentido la instalación del site Kinteroni ha quedado de la siguiente manera:

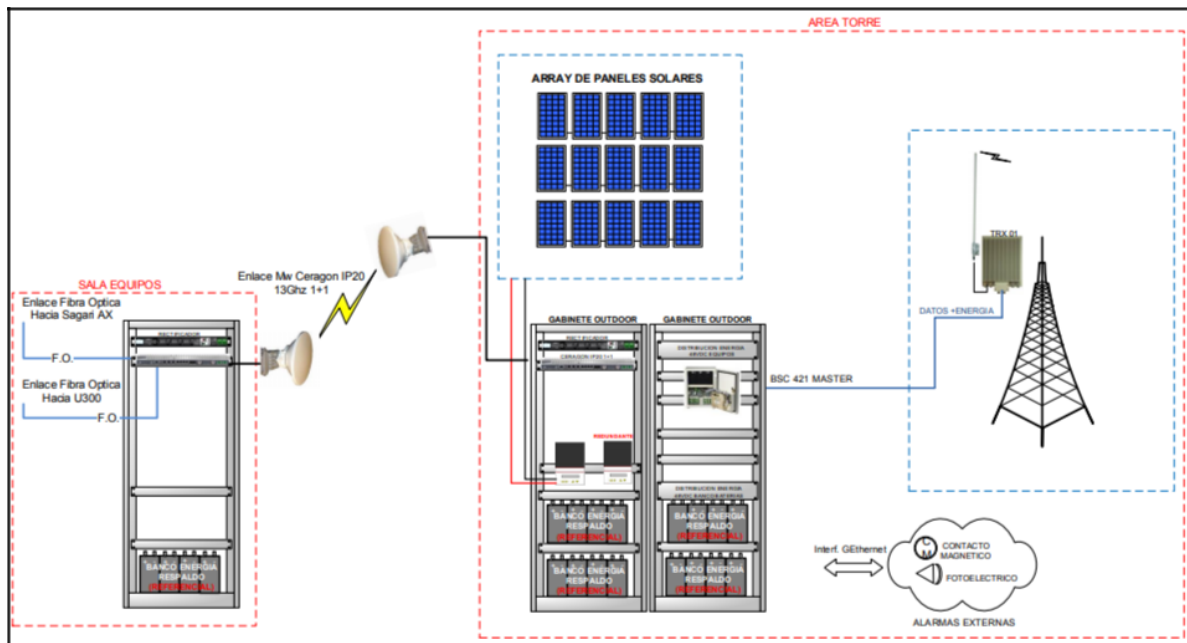


Figura 50. Diagrama de red Tetra en Site Kinteroni U100. Fuente: Elaboración Propia.

3.3.1.4 Implementación del Sistema en Locación Sagari AX

Para la implementación de la Locación AX se trabajó de la siguiente manera. A una distancia aproximada de 350 metros en la parte superior de la colina, se instaló una torre de 45 metros, y sobre esta torre se montaron las antenas y transmisor Tetra. Así mismo se instaló una Antena Andrew de 30cm de radio, para la red de transporte enlazados mediante enlace microondas de 13GHz, en el otro extremo se instaló una antena similar en un mástil que se encuentra a unos 35 metros del gabinete de la Sala de Operadores dentro del CPD de Sagari AX.



Figura 51. Vista Panorámica Locación Sagari Ax. Fuente: Elaboración Propia.

Los trabajos se realizaron en dos puntos específicos dentro de la locación de Sagari AX:

La zona de la Sala de Operadores

En esta área, se encuentran instalados los reflejos de fibra óptica que llegan desde Kinteroni y el reflejo que va hacia Sagari BX. En total se han utilizado 04 hilos de fibra para el servicio Tetra:

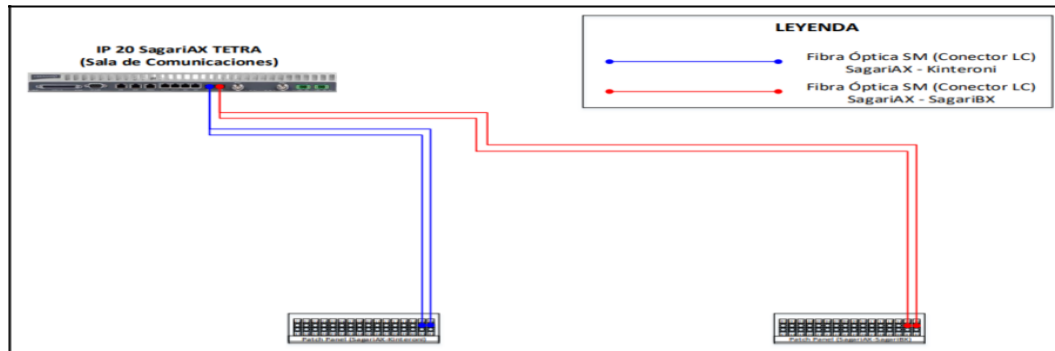


Figura 52. Conectividad de Fibra Óptica Repsol – Sagari AX. Fuente: Elaboración Propia

Dentro del gabinete de comunicaciones de la Sala de Control de operadores en Sagari Ax se instalaron los siguientes equipos:

- ✓ 01 Rectificador Enatel
- ✓ 01 Switch Ceragon IP20



Figura 53. Equipos Tetra en Gabinete de Sala de Operadores Sagari Ax. Fuente: Elaboración Propia.

La zona de la Torre

En la parte alta del site Sagari AX en donde se encuentra instalada la torre de 45m, se instalaron los siguientes equipos.

- ✓ 01 Gabinete hermético de 24 RU
- ✓ Rectificador Enatel
- ✓ Switch ceragon (capa 2)
- ✓ 8 Bancos de Batería.
- ✓ 12 Paneles solares.

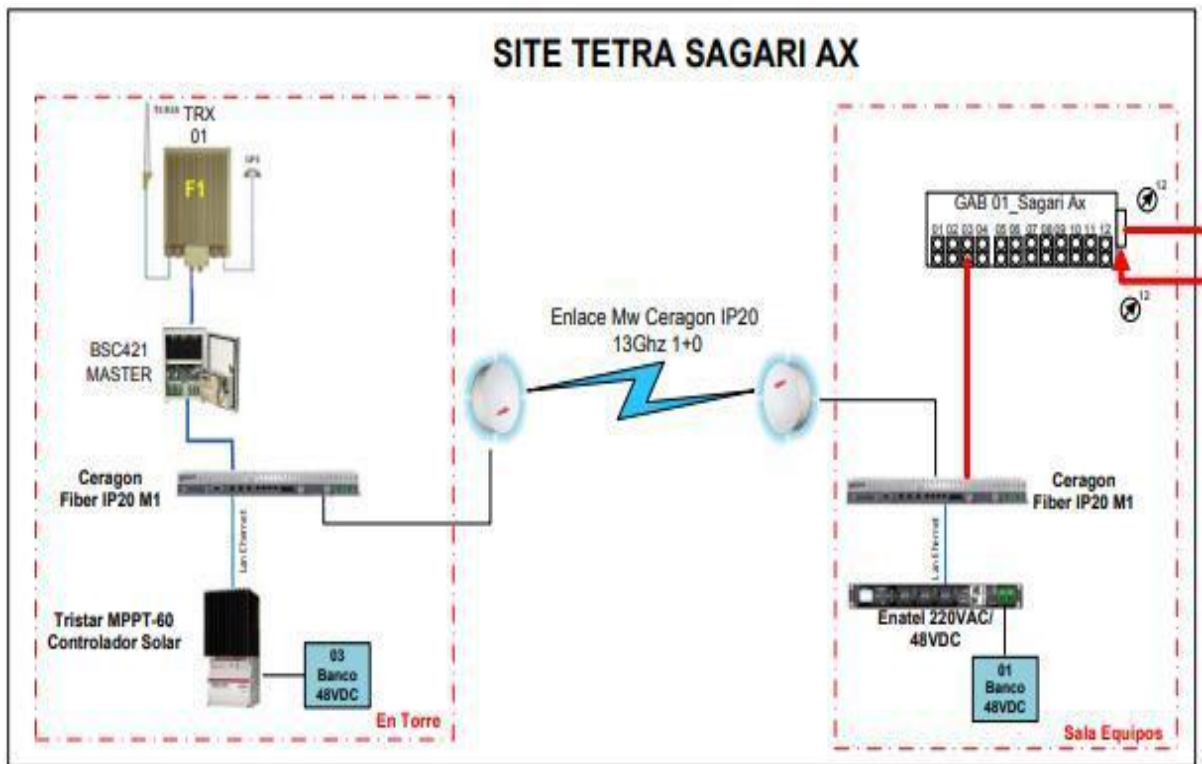


Figura 54. Diagrama de Red Tetra Locación Sagari AX. Fuente: Elaboración Propia.

3.3.1.5 Implementación del Sistema en Locación Sagari BX

Para la implementación de la Locación AX se trabajó de la siguiente manera. A una distancia aproximada de 300 metros en la parte superior de la colina, se instaló una torre de 45 metros, y sobre esta torre se montaron las antenas y transmisor Tetra. Del mismo modo, se instaló una Antena Andrew de 30cm de radio que trabaja a 13GHz, para la red de transporte enlazados mediante un enlace microondas, en el otro extremo se instaló la antena en un mástil que se encuentra a unos 30 metros del gabinete de la Sala de Operadores dentro del CPD de Sagari BX.

Los trabajos se realizaron en dos puntos específicos dentro de la locación de Sagari BX:

La zona de la Sala de Operadores

En esta área, se encuentran instalados los reflejos de fibra óptica que llegan desde Sagari AX. En total se han utilizado 02 hilos de fibra para el servicio Tetra:

- 02 Hilos de F.O como reflejos desde Sagari AX

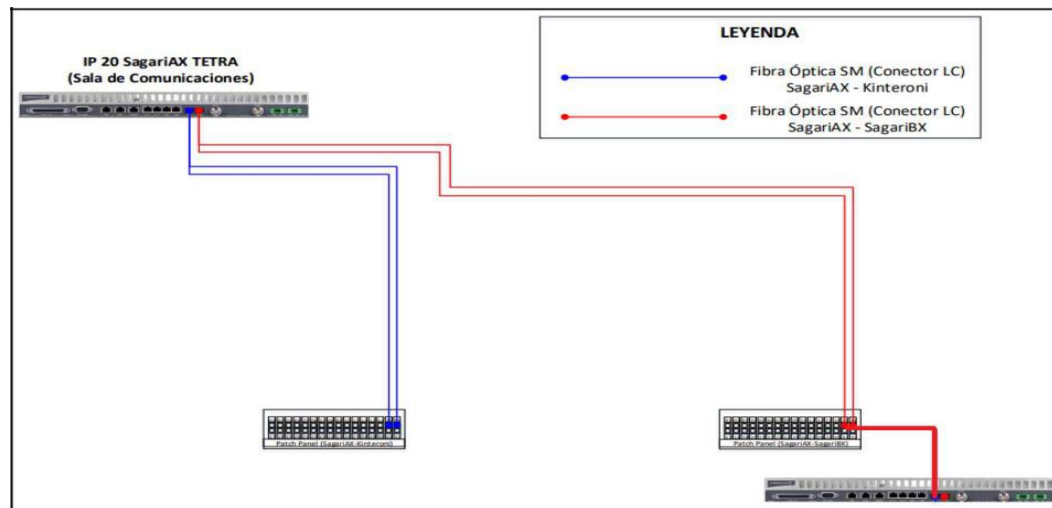


Figura 55. Conectividad de Fibra Óptica Repsol – Sagari BX. Fuente: Elaboración Propia

Dentro del gabinete de comunicaciones de la Sala de Control de operadores en Sagari Bx se instalaron los siguientes equipos:

- ✓ 01 Rectificador Enatel
- ✓ 01 Switch Ceragon IP20

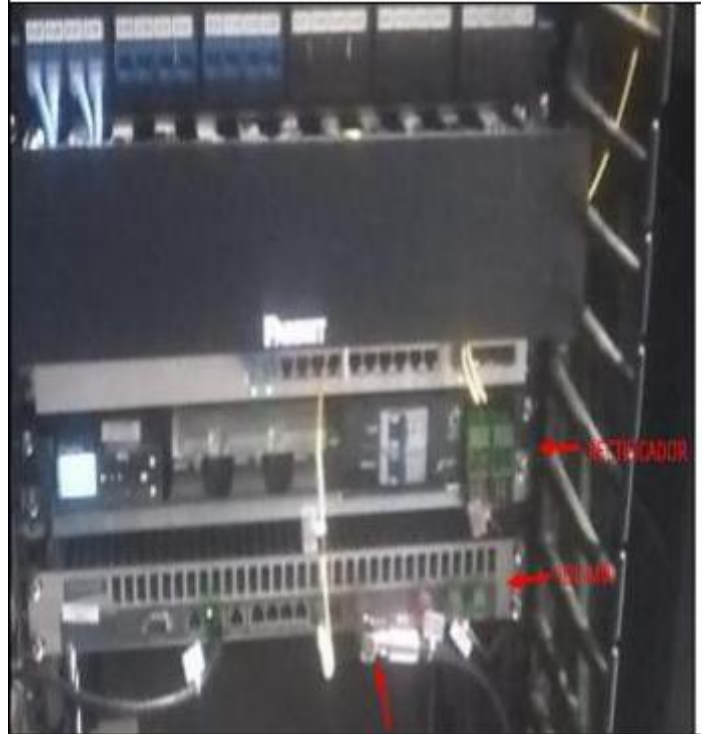


Figura 56. Equipos Tetra en Gabinete de Sala de Operadores Sagari Bx. Fuente: Elaboración Propia.

En la parte exterior al CPD de la Sala de control de los operadores se instaló la antena microondas Andrew la cual trabaja a 13Ghz. Esta antena fue instalada en la parte superior de un mástil que soporta a una torre de control, desde donde se tiene línea de vista hacia la torre de 45m ubicada en la colina. Hacia la ODU de esta Antena se tendió un cable IF RG-8 y un cable de energía a -52V. El switch ceragon instalado en el gabinete del centro de control es usado como ODU para la modulación de la señal microonda.



Figura 57. Antena Mw en Mástil de exterior CPD Sagari Bx. Fuente: Elaboración Propia

La zona de la Torre

En la parte alta de la locación Sagari AX en donde se encuentra instalada la antena, se instalaron los siguientes equipos.

- ✓ 01 Gabinete hermético de 24 RU
- ✓ Rectificador Enatel
- ✓ Equipo ceragon L3 - Switch ceragon (capa 2)
- ✓ 12 Paneles solares.
- ✓ 08 Bancos de Baterías.



Figura 58. Gabinete Tetra en Base de Torre Site Sagari Bx. Fuente: Elaboración Propia

En la Torre de 45m se instalaron las antenas y el transmisor Tetra; también una Antena Andrew de 30cm de radio para el enlace microondas.



Figura 59. Torre en Estación Base Sagari Bx. Fuente: Elaboración Propia.

En tal sentido la instalación y la infraestructura de red del Site Sagari Ax ha quedado de la siguiente manera:

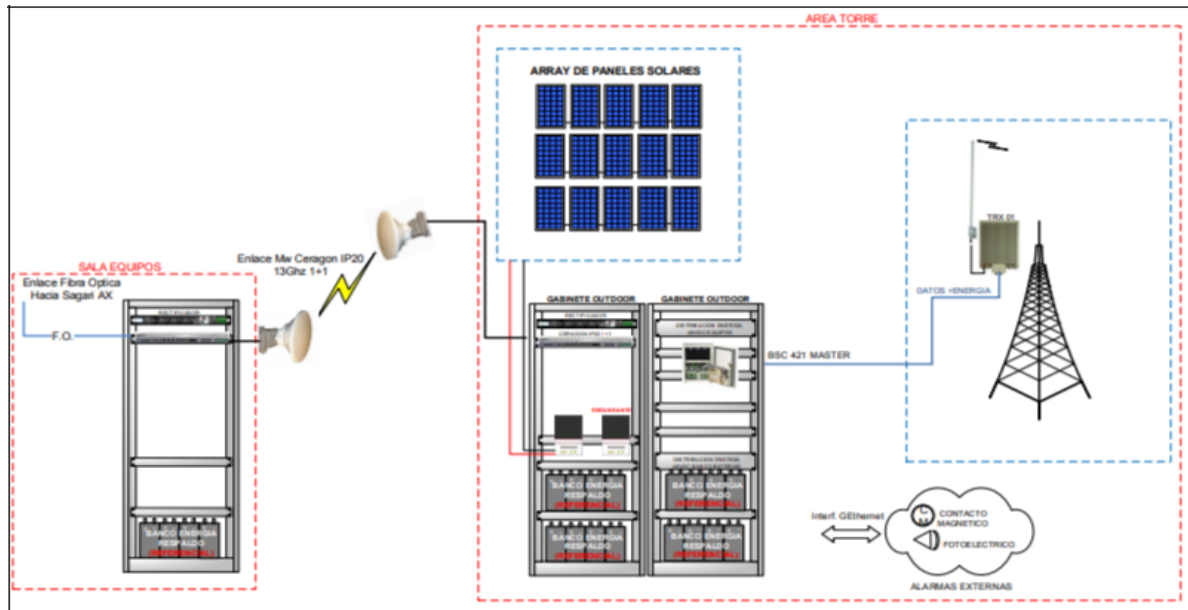


Figura 60. Diagrama de Red Tetra Locación Sagari BX. Fuente: Elaboración Propia

Con el fin de los trabajos de la Locación Sagari Bx, se culminó con la implementación de toda la infraestructura de red para el Sistema Troncalizado Tetra en el Lote 57 de Repsol. Adicional al cableado de fibra óptica que existía para interconectar las locaciones y campamentos, se implementaron 03 enlaces microondas para poder mantener la conectividad Estaciones Bases en donde se instalaron las antenas Tetra. En cada una de las estaciones bases se instalaron un sistema de panel solar para aprovechar el clima cálido de la zona y con ello un banco de baterías dentro del gabinete para brindar energía a los equipos instalados.

3.4 Estructura de Desglose de Trabajo

Para el siguiente informe de insuficiencia profesional se ha determinado el siguiente esquema como la estructura de desglose de Trabajo. Teniendo en cuenta los pasos que se han detallado con anterioridad en cada una de las etapas de Identificación, Diseño e Implementación.



Figura 61. Esquema Estructura de Desglose de Trabajo (EDT). Fuente: Elaboración Propia

CAPITULO 4

RESULTADOS

4.1 Estaciones Bases y sus características

Con el estudio de campo que se realizó en el Lote 57 de Repsol, se pudo determinar que se instalarían 04 nodos, uno en cada Locación (Nuevo Mundo, Kinteroni, Sagari Ax, Sagari Bx), para iniciar los trabajos se debería de conocer la altura en la que se deberían de instalarse las Antenas para obtener buenos parámetros de cobertura en las áreas de trabajo. Por ello se utilizó un software que, según el relieve de cada uno de los sites, las frecuencias en las que se trabajaría y potencias irradiadas determinaría esta altura. Estos datos pudieron ser corroborados con los obtenidos por los cálculos teóricos realizados en las tablas del 6 al 11.

Tabla 15: *Intensidad de potencia de señal recibida en locaciones. Fuente: Propia*

Site	Frecuencia (MHz)	Potencia Min Radiada(dBm)	Potencia Max Radiada(dBm)	Altura de Antena (m)
Nuevo Mundo	420	-105	-60	10m
Kinteroni	420	-105	-60	35m
Sagari Ax	420	-105	-60	35m
Sagari Bx	420	-105	-60	35m

Los datos de esta tabla fueron ingresados a un software ICS-Pro Site Survey el cual dependiendo de los parámetros que se ingresan nos arroja la altura a la que se deben de instalar las Antenas Tetra.

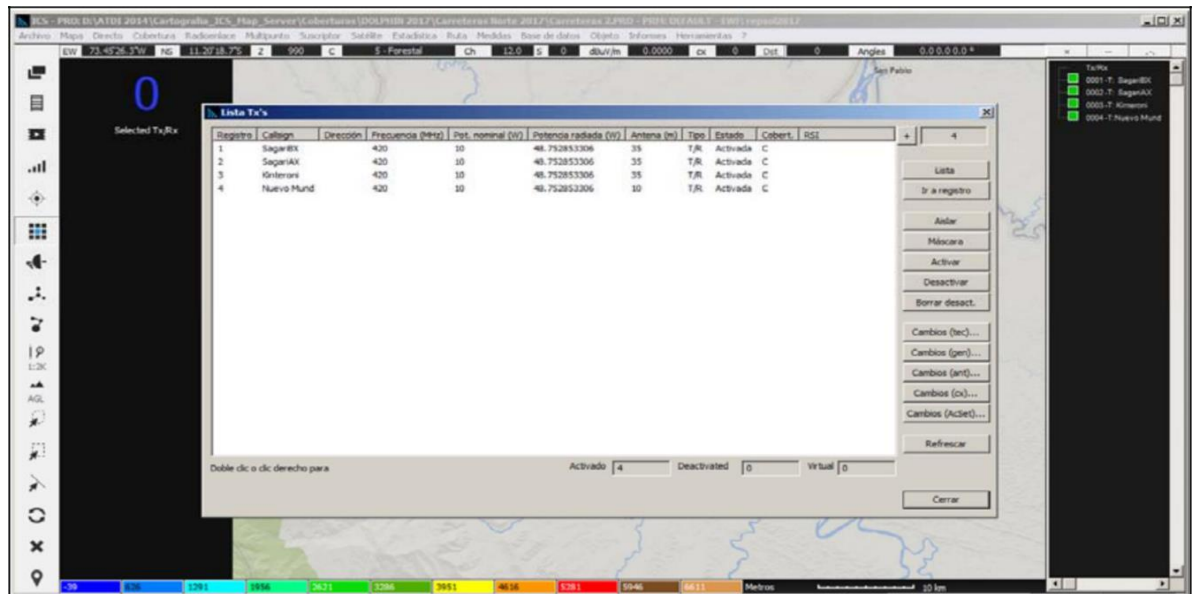


Figura 62. Datos en Software ICS-Pro Site Survey. Fuente: Elaboración Propia.

4.1.1 Medios de comunicación

Se definió utilizar la fibra óptica existente para enlazar los nodos y usar un enlace microondas como medio de transporte para establecer el servicio hacia las estaciones base. También se evaluó la disponibilidad de gabinetes existentes en cada una de las salas de comunicaciones; sin embargo, en las estaciones bases se instalarían un gabinete nuevo y hermético en donde se instalaría la electrónica de red del sistema Tetra.



Figura 63. Conexión de Fibra óptica entre Nodos de las locaciones. Fuente: Elaboración Propia

Teniendo en consideración las facilidades técnicas que se han encontrado en el Lote 57 de Repsol, se optó por una Red tipo Bus; pero en la implementación se tuvo un inconveniente con un hilo del par de fibra óptica (dañado) que interconectaba la sala de operadores con el minicampamento de Kinteroni. dando origen a que se modifique las conexiones entre los sites. Para dar una solución a este inconveniente, se utilizó un switch Cisco en producción, el cual contaba con disponibilidad de puertos, configurándolo 03 puertos en modo troncal

Puerto 10: Fibra óptica desde U300

Puerto 11: Fibra óptica hacia Minicampamento

Puerto 12: Fibra óptica hacia Sagari Ax

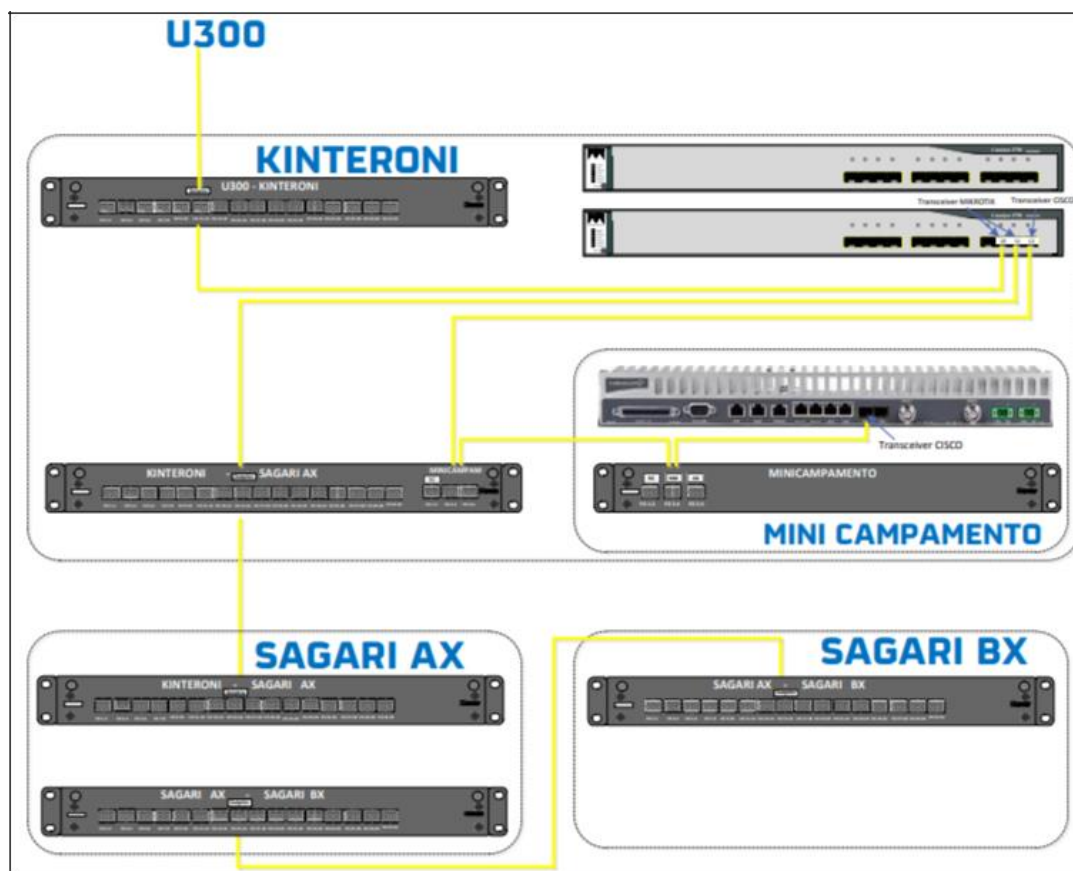


Figura 64. Conexión de Fibra óptica entre Nodos de las locaciones. Fuente: Elaboración Propia

Es así, que el diagrama de red del sistema troncalizado Tetra en el lote 57 ha quedado implementado como se muestra en la siguiente imagen.

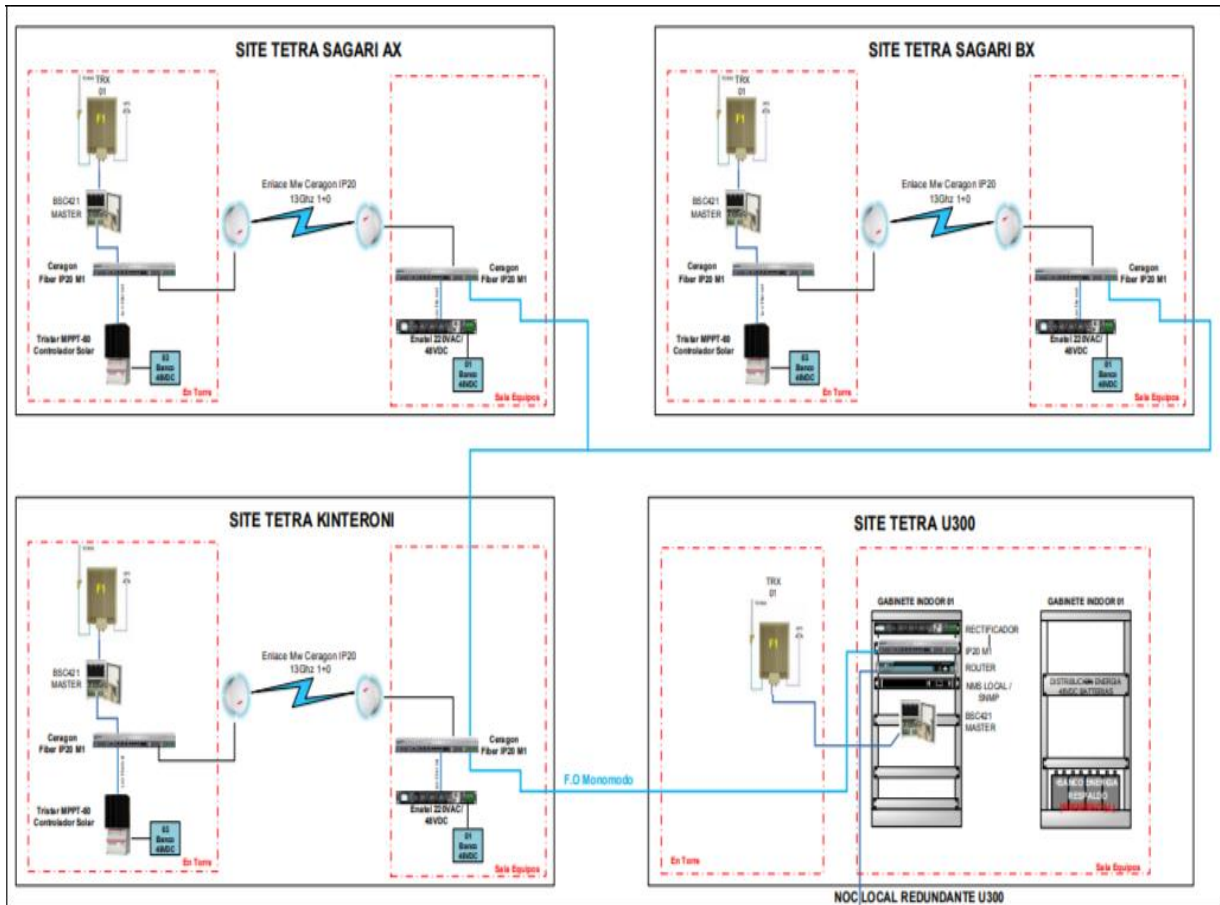


Figura 65. Estructura de Red Tipo Bus – Sistema Tetra Repsol. Fuente: Elaboración Propia.

4.1.2 Potencia de Señal

Con respecto a la implementación del sistema tetra, se concluyó satisfactoriamente la instalación de los 04 nodos en locaciones y en el campamento Nuevo Mundo. Como punto adicional se comprobó que existe una sobreposición de señales entre las locaciones Kinteroni - Sagari Ax y Sagari Ax y Sagari Bx; esto nos ayuda en caso que surga una avería en uno de las estaciones bases de estas locaciones, las radios podrán conectarse a la estación base contigua y seguir la comunicación sin problemas. El cambio de estación

base depende del tipo de avería que haya sucedido, ya que si la estación sigue encendida y aún tiene registrado un terminal no se podrá registrar en otra EB, por ello es importante saber que los terminales se registran en las Estación Base que presenten mayor intensidad de señal.

De acuerdo a las pruebas realizadas en campo, se pudieron obtener los siguientes datos de la potencia mínima y máxima obtenida dentro de las locaciones. Las potencias mínimas se obtuvieron dentro de containers metálicos los cuales son usados como centro de control para operadores, estos containers se instalaron posteriormente al estudio de campo realizado. Por otro lado, la potencia máxima recibida se obtuvo en el centro de los campamentos.

Tabla 16: *Datos de Potencia Recibida. Fuente: Propia.*

Site	Potencia Min Recibida(dBm)	Potencia Max Recibida(dBm)	Pot. En Derecho de Vía (dBm)
Nuevo Mundo	-119	-63	-77
Kinteroni	-100	-62	-76
Sagari Ax	-97	-65	-78
Sagari Bx	-106	-62	-71

Datos obtenidos en las pruebas de cobertura en las locaciones.

Con estas pruebas se pudo comprobar que los parámetros de señal en los derechos de vías (rutas que unen las locaciones), se encuentra completamente operativa.

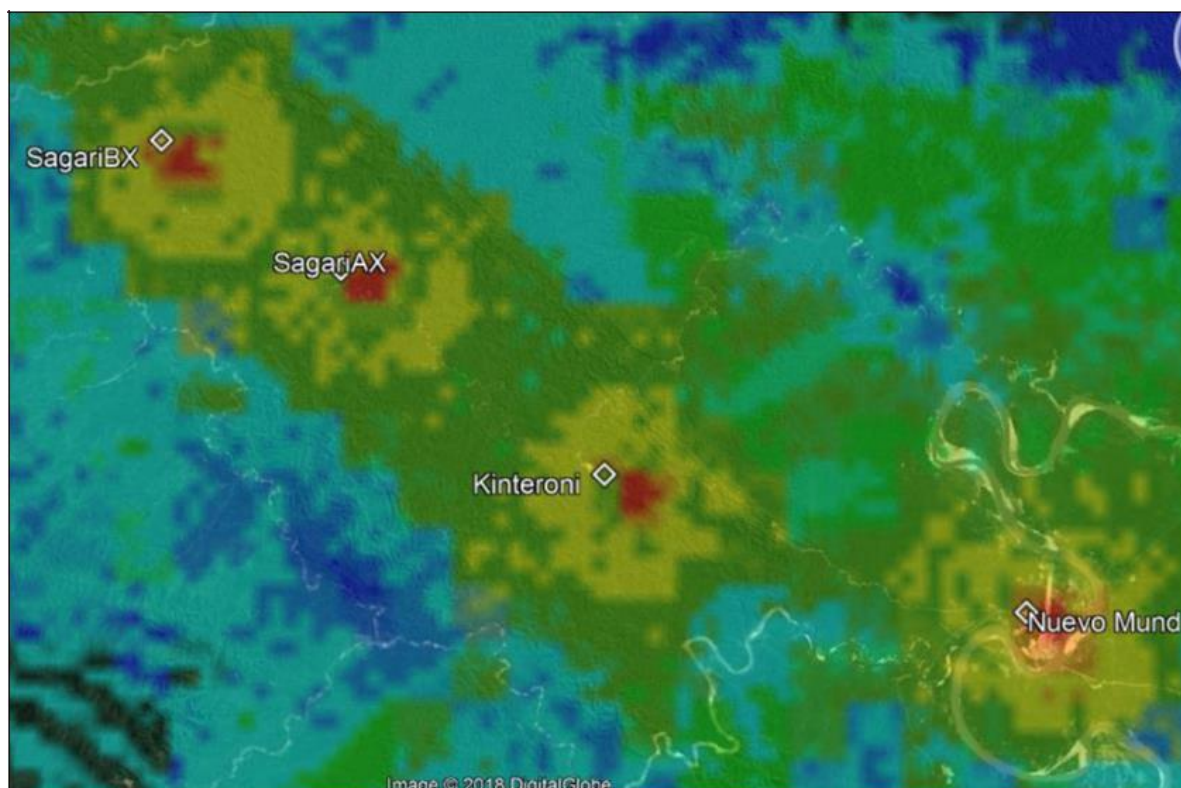


Figura 66. Intensidad de Señal en los sites. Fuente: Google Earth Pro

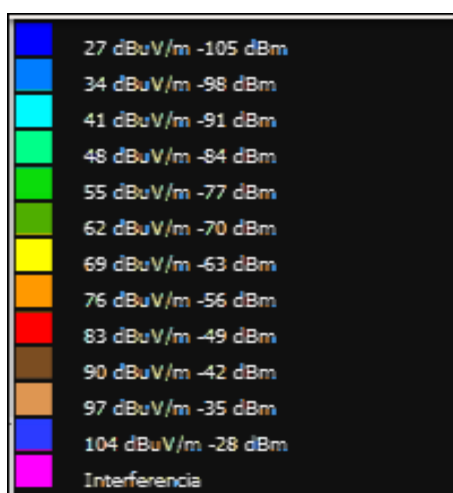


Figura 67. Relación de colores con Intensidad de Señal. Fuente: Google Earth Pro.

Por otro lado; en el servidor SNMP y NMS son utilizados para verificar las alertas del sistema, desde este servidor podemos monitorizar y gestionar el estado de las BSC instaladas en las 04 locaciones. Por otro lado se han virtualizado servidores de grabación

de audios con el fin de mantenerlos en confidencialidad.

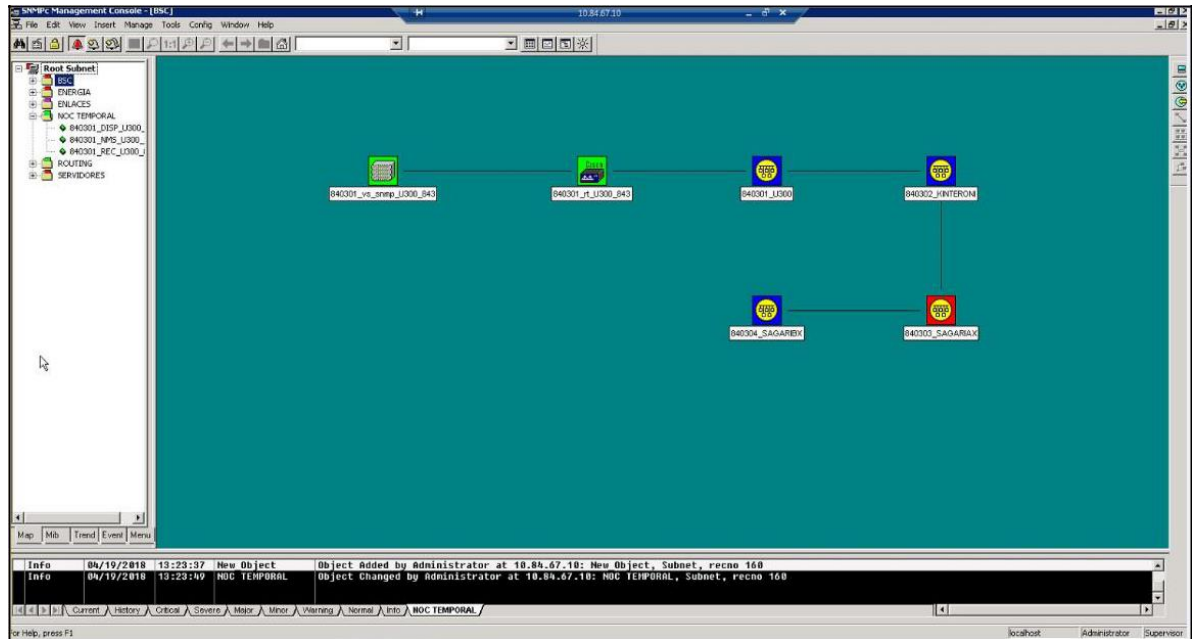


Figura 68. Conexión de Estaciones Base en el Servidor SNMP. Fuente: SNMPc Managment Console - BSC

Todos los dispositivos móviles que se quieran integrar a la red Tetra del Lote 57 deben de registrarse en el NMS, y asignarles un número de ISSI la cual es única y está asociada a la TEI del equipo. Uno de los requerimientos de Repsol es que solo se trabaje con equipos motorolas. Por seguridad en los servidores se encuentran restringidos los accesos mediante usuarios exclusivos y corporativos.

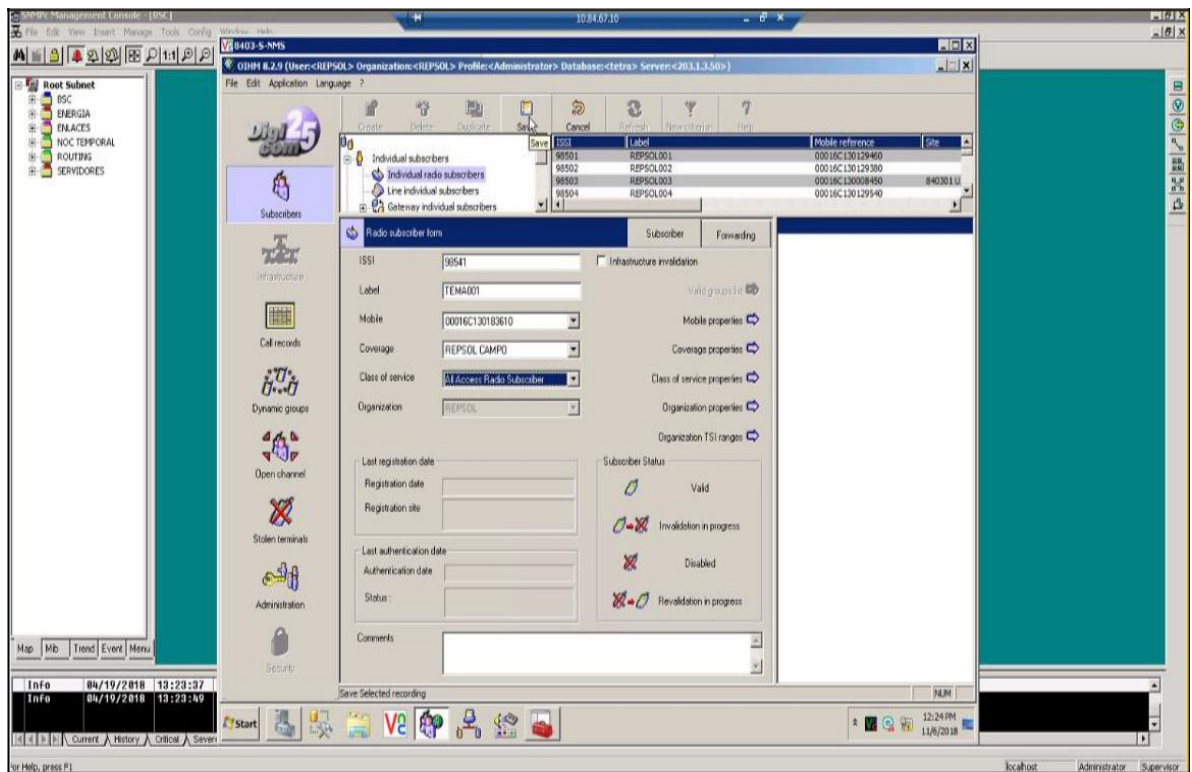


Figura 69. Registro de Equipo Motorola en NMS. Fuente: SNMPc Managment Console – BSC.



Figura 70. Equipo Motorola registrado en Site Nuevo Mundo. Fuente: Elaboración Propia

4.2 Cronograma

4.2.1 Cronograma de Actividades de Nuevo Mundo

En el Site de Nuevo Mundo las actividades se llevaron a cabo según el siguiente cronograma.

	Plan de Trabajo Site - Sagari U300	%	JULIO						
			M	M	J	V	S	D	
			8	9	10	11	12	13	
1	Traslado de Personal	-	T					T	
2	Inspección de la zona de trabajo en torre y cuarto de comunicaciones	100%	X						
3	Recepción de Material y Herramientas	100%	X	X					
4	Armado de Gabinete de Comunicaciones	100%			X				
5	Instalación de Antena de transmisión TETRA	90%			X	X			
6	Conexión a cuarto de comunicaciones	100%				X	X		
7	Instalación de Sistema de energía	100%					X		
8	Instalación de Equipamiento de Sistema Tetra	100%					X		
9	Pruebas de Sistema Tetra y Levantamiento de Observaciones	100%						X	
		100%	NM - U300						

Figura 71. Cronograma de trabajos en Nuevo Mundo. Fuente: Elaboración Propia.

4.2.2 Cronograma de Actividades de Kinteroni

En el Site de Kinteroni las actividades se llevaron a cabo según el siguiente cronograma.

	Plan de Trabajo Site - Kinteroni	JULIO			
		V	S	D	L
		6	7	8	9
1	Traslado de Personal de NM - Kinteroni	T			T
2	Traslado de Material y Herramientas	X			
3	Inspección de las áreas de trabajo CPD Kinteroni y Minicampamento	X			
7	Instalación de Antena de Mw en mastil de 12mts		X		
4	Instalación de Gabinete Outdoor		X		
5	Desmontaje de Equipos Conectividad en Minicampamento		X		
6	Instalación de equipos Conectividad en CPD U100		X	X	
8	Aterramiento y Energizado de BTS - Gabinete Outdoor		X	X	
9	Enlace Mw - hacia Torre de Comunicaciones Kinteroni			X	X
10	Pruebas de Sistema Tetra y Levantamiento de Observaciones				X
		KINTERONI			

Figura 72. Cronograma trabajos en Kinteroni. Fuente: Elaboración Propia.

4.2.3 Cronograma de Actividades de Sagari Ax

En el Site de Kinteroni las actividades se llevaron a cabo según el siguiente cronograma.

Plan de Trabajo Site- Sagari Ax - BX		JUNIO														
		V	S	D	L	M	M	J	V	S	D	L	M	M	J	V
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	Traslado de Personal	X							X							
2	Inspección de la zona de trabajo. Torre y cuarto de comunicaciones	X							X							
3	Recepción de Material		X						X							
4	Armado de Paneles Solares		X	X					X	X						
5	Elaboración de Puesta a tierra y pararrayos		X	X	X	X			X	X	X	X				
6	Armado de Gabinete de Comunicaciones		X	X	X				X	X	X					
7	Instalación de Antena de transmisión TETRA			X	X					X	X					
8	Instalación de Antena Microondas (Antena - Unidad 110)				X						X					
9	Conexión a cuarto de comunicaciones				X	X					X	X				
10	Instalación de Sistema de energía				X	X					X	X				
11	Instalación de Equipamiento					X	X					X	X			
12	Finalización y Pruebas						X							X		
13	Levantar Observaciones						X	X						X	X	
		SAGARI AX							SAGARI BX							

Figura 73. Cronograma de trabajos en Sagari Ax. Fuente: Elaboración Propia.

4.2.4 Cronograma de Actividades de Sagari Bx

En el Site de Kinteroni las actividades se llevaron a cabo según el siguiente cronograma.

Plan de Trabajo Site - Sagari BX		JUNIO				JULIO	
		M	J	V	S	D	L
		27	28	29	30	1	2
1	Traslado de Personal	T					T
2	Inspección de la zona de trabajo en torre y cuarto de comunicaciones	X					
3	Recepción de Material y Herramientas	X	X				
4	Armado de Paneles Solares		X	X			
5	Elaboración de Puesta a tierra y pararrayos		X	X	X		
6	Armado de Gabinete de Comunicaciones			X			
7	Instalación de Antena Microondas			X	X		
8	Instalación de Antena de transmisión TETRA				X		
9	Conexión a cuarto de comunicaciones				X	X	
10	Instalación de Sistema de energía					X	
11	Instalación de Equipamiento de Sistema Tetra					X	
12	Pruebas de Sistema Tetra y Levantamiento de Observaciones						X
		SAGARI BX					

Figura 74. Cronograma de Trabajos en Sagari Bx. Fuente: Elaboración Propia.

CONCLUSIONES

Con la implementación de los 04 sites Tetra en Nuevo Mundo y las locaciones, se comprobó que mejoró la intensidad de señal dentro de los campamentos. A continuación, se muestra una tabla comparativa en donde se muestran los datos medidos con los equipos radiales de VHF, sistema Tetra y los cálculos obtenidos matemáticamente.

Tabla 17: Datos comparativos de intensidad de señal en campamentos. Fuente: Propia.

LOCACIONES	CON VHF	CON TETRA	RSSI Calculado
NUEVO MUNDO	- 90 dBm	- 63 dBm	-54,16 dBm
KINTERONI	- 95 dBm	- 62 dBm	-52,82 dBm
SAGARI AX	- 93 dBm	- 65 dBm	-52,82 dBm
SAGARI BX	- 97 dBm	- 62 dBm	-52,82 dBm

De la misma manera, se obtuvieron mejoras en los parámetros de señal obtenido en los derechos de vías, tal y como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 18: Datos comparativos de intensidad de señal derechos de vías. Fuente: Propia.

LOCACIONES	CON VHF	CON TETRA	RSSI Calculado
NUEVO MUNDO	- 112 dBm	- 77 dBm	-69,43 dBm
KINTERONI	- 117 dBm	- 76 dBm	67,83 dBm
SAGARI AX	< - 120 dBm	- 78 dBm	67,83 dBm
SAGARI BX	< - 120 dBm	- 71 dBm	67,83 dBm

Se diseñó una red para el sistema tetra el cual dependió de la disponibilidad de la infraestructura con que contaba Repsol en nuevo mundo y las locaciones, también de recursos para las interconexiones entre sites, es así que se utilizó fibra óptica y enlaces microondas.

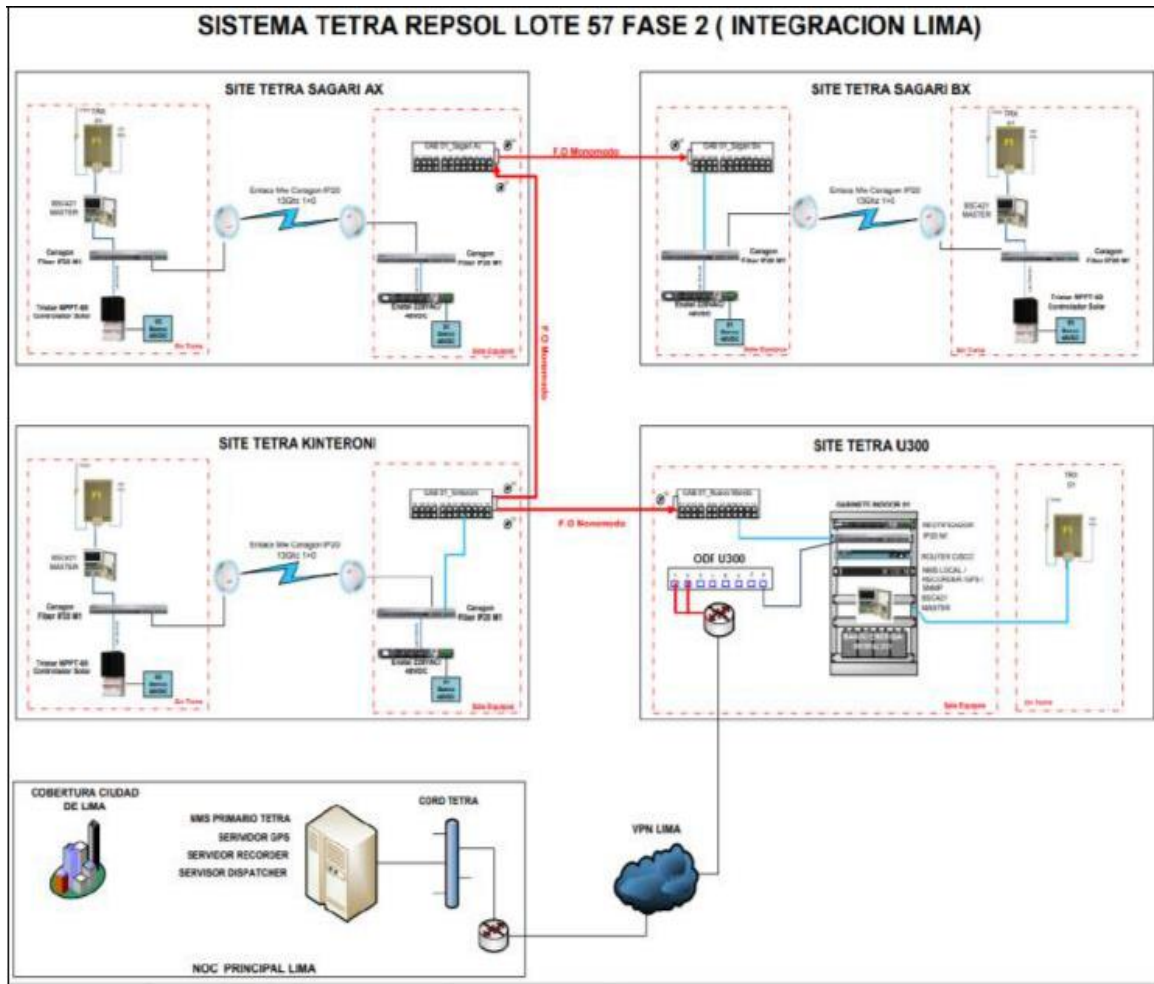


Figura 75. Diseño final de Red Troncal Tetra. Fuente: Elaboración Propia.

Se implementaron 04 sites en cada uno de las locaciones, en donde se ha logrado cubrir la mayor parte de las zonas de trabajos tal como se esperaba, campamentos, locaciones, zonas de trabajos y derechos de vías.

Además, se pudo comprobar que los sites presentan un traslape entre ellos, teniendo cobertura y comunicación mediante la red Tetra en caso de algún desperfecto con los equipos de comunicaciones en uno de los mismos.

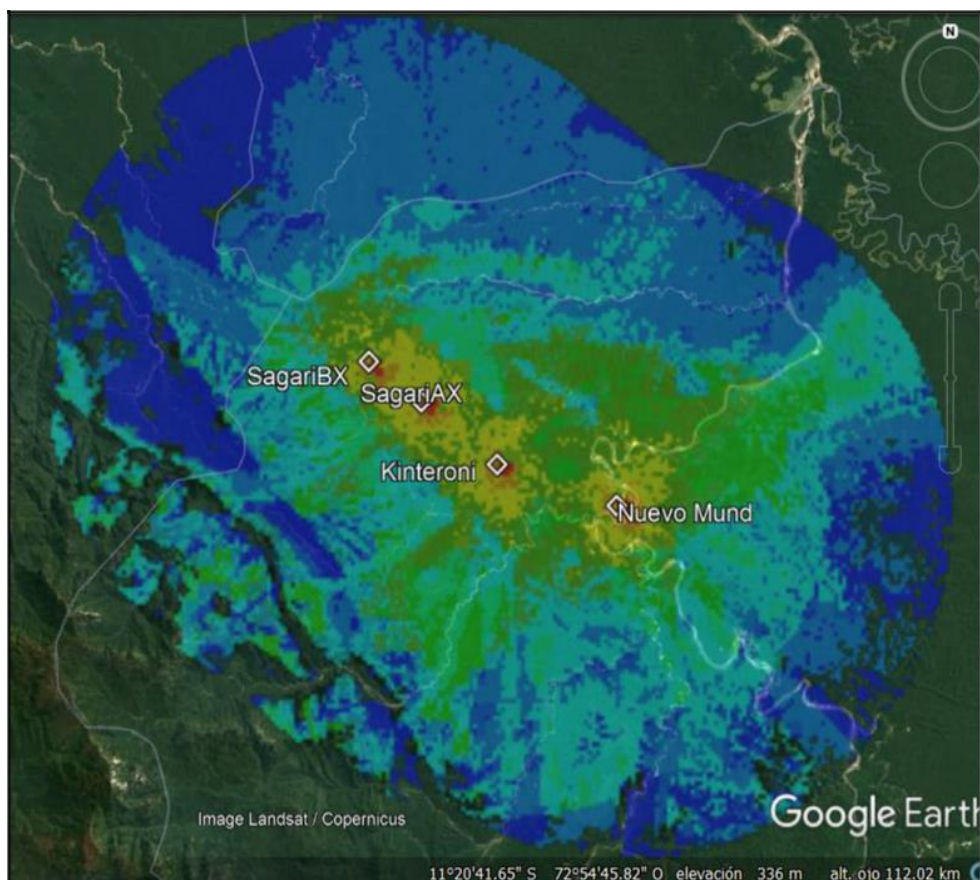


Figura 76. Mapa de Calor de Intensidad de Señal con Sistema Tetra: Elaboración Propia.

RECOMENDACIONES

Los estudios técnicos de campo se deben de realizar en dos fechas como mínimo, al inicio del proyecto para tener una idea del estado actual y plantear las posibles soluciones como el diagrama de red; y el segundo estudio de campo antes de iniciar la implementación, ya que en ese lapso de tiempo puede surgir alguna modificación o implementación que afectan al diagrama inicial y su funcionabilidad en la puesta en marcha.

Implementar una red de gestión de equipos del sistema tetra para casos de monitoreo y/o modificaciones en el sistema, para no tener que estar presencialmente en la red local del sistema para poder manipular algunos datos o agregar dispositivos en la red Tetra.

Tener en cuenta las contingencias a implementar tanto para la conectividad de los equipos de comunicación, como para los dispositivos finales, como ejemplo práctico se realizó el apagado del transmisor en Sagari Ax y se mantenía el sistema Tetra activo en las áreas de Kiteroni y Sagari Bx.

BIBLIOGRAFÍA

Castro Plazas, W. O., & Medina Palacio, M. P. (30 de 06 de 2016). *Repositorio Institucional Universidad Distrital - RIUD*. Obtenido de <http://hdl.handle.net/11349/3374>

Central European Time. (21 de 02 de 2018). *Europa press*. Obtenido de <http://www.europapress.es/economia/red-empresas-00953/noticia-teltronic-suministrarsistema-comunicaciones-tetra-tranvia-odense-dinamarca-20180221115815.html>

Ciuffo, G. (21 de 09 de 2018). *Redes Telecom*. Obtenido de <http://www.redestelecom.es/comunicaciones/reportajes/1047849000303/tetra-frecuencia-segura-comunicaciones-criticas.1.html>

Defilippi Elias, A. (2010). *Repositorio Institucional - UNI*. Obtenido de <http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/222>

Dolphin Telecom. (2014). *Dolphin*. Obtenido de <http://www.dolphin.pe/que-es-tetra/>

ETSI. (1995). *ETSI*. Obtenido de <https://www.etsi.org/technologies>

García Pérez, A. (12 de 06 de 2013). *Revista Digital de ACTA* . Obtenido de https://www.acta.es/medios/articulos/comunicacion_e_informacion/003001.pdf

Herrera Luna, C. E. (28 de 10 de 2016). *Repositorio digital de tesis PUCP*. Obtenido de tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/123456789/7381

Industrial M2M. (24 de 04 de 2015). *Logitek*. Obtenido de <http://www.m2mlogitek.com/que-es-tetra-terrestrial-trunked-radio/>

- Interempresas.net. (30 de 11 de 2017). *Interempresas*. Obtenido de <https://www.interempresas.net/Electronica/Articulos/205039-Exploracion-del-sistema-de-red-TETRA-desde-la-optica-de-la-ciberseguridad-y-privacidad.html>
- Joves, K. (09 de 2012). *Repositorio Institucional Universidad Distrital - RIUD*. Obtenido de <http://159.90.80.55/tesis/000159435.pdf>
- Lara Nava, C. (02 de 06 de 2009). *Repositorio Dspace*. Obtenido de <https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/3214/CARACTERIZACIONDEUNA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Ludeña Loayza, W. R. (2011). *Repositorio Institucional - UNI*. Obtenido de <http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/9446>
- Morales Fhon, J. (09 de 01 de 2018). *Ecosistema Digital*. Obtenido de <http://www.ecosistemadigital.pe/2018/01/09/la-regulacion-de-las-telecomunicaciones-en-peru-2017/>
- Muñoz Esteban, J. J., Ledesma Obelar, I., & Rubio Calatayud, R. (11 de 03 de 2010). *Astic*. Obtenido de <https://www.astic.es/articulos-boletic/trunking-y-aplicaciones-en-movilidad>
- Murillo Fuentes, J. J. (13 de 05 de 2008). *Radiación y Radiocomunicación 4º Ingeniería de Telecomunicación*. Obtenido de <http://personal.us.es/murillo/docente/radio/documentos/tema9.pdf>
- POU, C. V. (2010). *INTRODUCCIÓN A LAS REDES DE COMUNICACION TRUNKING DIGITAL TETRA*. CANTABRIA: ROHDE&SCHWARZ.

Rodríguez Buendía , M. J. (02 de 07 de 2013). *Repositorio Digital de la Universidad Politécnica de Cartagena*. Obtenido de <http://hdl.handle.net/10317/3353>

Solís Tulande, E. (2017). *Repositorio Institucional de la Universidad Santo Tomás*. Obtenido de <http://hdl.handle.net/11634/4311>

Suybate Racchumi, C. C. (2014). *Repositorio Institucional UNTELS*. Obtenido de <http://repositorio.untels.edu.pe/handle/UNTELS/115>